



Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

DAGVL-DIFF

Beräkning av icke-stationära
flödesförlopp i helt eller
delvis fyllda avloppssystem,
tunnlar och kanaler

ANDERS SJÖBERG

REPORT
SERIES B:45

GÖTEBORG 1984



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

DAGVL-DIFF

BERÄKNING AV ICKE-STATIONÄRA FLÖDESFÖRLOPP
I HELT ELLER DELVIS FYLLEDA AVLOPPSSYSTEM,
TUNNLAR OCH KANALER

ANDERS SJÖBERG

(Redigerad 1985)

REPORT
SERIES B:45

GÖTEBORG 1984

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

INNEHÅLL

	sid.
1. INLEDNING	
2. VILKA LEDNINGSSYSTEM, KNUTPUNKTER OCH TILL- RINNINGAR KAN DAGVL-DIFF BEHANDLA?	2.1
2.1 Ledningssystemet	2.1
2.2 Knutpunkter	2.1
2.3 Ledningssektioner	2.6
2.4 Tillrinning till ledningssystemet	2.6
3. GRUNDLÄGGANDE EKVATIONER FÖR BERÄKNING AV LEDNINGSFLÖDE	3.1
3.1 Stationär, likformig strömning med fri vattenyta	3.1
3.2 Kontinuitets- och rörelsemängdekvation för icke- stationär, svagt föränderlig strömning med fri vattenyta	3.3
3.3 Förenklade rörelseekvationer	3.7
3.4 Randvillkor för ledning	3.12
4. OLIKA SÄTT ATT BERÄKNA FLÖDESFÖRLOPPET I LEDNINGAR I DAGVL-DIFF	4.1
5. STRÖMNING I HELT FYLLD SEKTION	5.1
6. NUMERISK LÖSNING AV RÖRELSEEKVATIONERNA	6.1
6.1 Olika numeriska lösningsmetoder	6.1
6.2 Implicit lösning av diffusiv våg-ekvationerna	6.2
7. VAL AV BERÄKNINGSSTEG I TID OCH RUM, NUMERISK STABILITET	7.1
7.1 Val av Δt och Δx	7.1
7.2 Dämpning av parasitisk vågbildning vid beräkning av snabbt varierande flödesförlopp	
7.3 Parameter i datagruppen OTHER	

8.	INDATABESKRIVNING	8.1
8.1	Allmänt	8.1
8.2	Datagrupper - kodord	
8.3	Kodord TEXT	
8.4	NET	
8.5	MODEL	
8.6	TIME	
8.7	BOUNDARY	
8.8	BASFLOWJ	
8.9	BASFLOWL	
8.10	HYDROJ	
8.11	HYDROL	
8.12	RAINJ	
8.13	RAINL	
8.14	OUTPUT	
8.15	SECTION	
8.16	OVERFLOW	
8.17	OTHER	
8.18	STABIL	
8.19	STOP	
9.	BERÄKNINGSEXEMPEL	

1. INLEDNING

DAGVL-DIFF är en datormodell för beräkning av icke-stationära flödesförlopp i delvis eller helt fyllda avloppssystem, tunnlar och kanaler. Modellen har tagits fram vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, och utgör en vidareutveckling av datormodellen DAGVL-A (Sjöberg, 1976). DAGVL-DIFF är av samma typ som datormodellerna SNMM-EXTRAN (Roesner et al, 1981) och S11-Sewer (Hoff-Clausen, 1981), men den bygger till viss del på något förenklade rörelseekvationer och utnyttjar ett annorlunda lösningsförfarande.

DAGVL-DIFF skiljer sig från dagvattenmodeller av typen ILLUDAS (Sjöberg et al, 1979) och NIVA-net (Svensson, Strandner, 1983) genom att DAGVL-DIFF kan genomföra dämninganalyser, vilket de senare modellerna ej kan göra. Varken ILLUDAS eller NIVA tar hänsyn till om vattennivån (trycklinjens nivå) nedströms i systemet står så högt att den påverkar flöden och vattenstånd i uppströms liggande ledningar. Vid flöden större än det dimensionerande kan därför beräkningsresultat erhållna med hjälp av dessa modeller vara missvisande.

En dämninganalys kan vidare inte baseras på de starkt förenklade rörelseekvationer som utnyttjas i ILLUDAS eller NIVA. Mer fullständiga ekvationer som tar hänsyn till vattenytans lutning måste användas. Detta innebär att DAGVL-DIFF ger ett mera korrekt resultat även för flödesförlopp utan dämningseffekter. För en diskussion av de grundläggande rörelseekvationerna, olika typer av numeriska lösningsmetoder m.m. hänvisas till Sjöberg (1976).

Om man bortser från dämningseffekterna kan analysen av flödesförloppet göras i ledning för ledning i nedströmsriktning. Så sker i ILLUDAS och NIVA-net, vilket gör att man enkelt kan dimensionera ett ledningssystem mha dessa modeller.

En dämninganalys kräver ett annat beräkningsförfarande. För att kunna beakta effekten av ett högt nedströmsvattenstånd på flödesförloppet i uppströms liggande ledningar så måste man vid varje tidpunkt lösa ett antal ekvationer som binder ihop aktuella flöden och vattenstånd i alla beräkningspunkter i systemet. Detta kan vi inte göra om vi inte känner geometrin för alla ingående ledningar. DAGVL-DIFF kan därför ej användas för direkt dimensionering av ett avloppssystem. Man skulle visserligen kunna gissa sig till ledningarnas dimension och sedan genom successiva beräkningar modifiera dimensionerna så att de sväljer det aktuella flödet. Detta blir emellertid både dyrt och arbetsamt. En lämpligare arbetsgång är därför:

1. dimensionera systemet med hjälp av ILLUDAS eller NIVA-net
2. kontrollera att systemet fungerar som avsett mha DAGVL-DIFF (eller motsvarande typ av modell), speciellt då för flöden större än det dimensionerande.

För att underlätta denna arbetsgång så har det tagits fram ett speciellt datorprogram ILL-DIFF (Strandner, 1983) som knyter ihop ILLUDAS och DAGVL-DIFF. Genom en ILLUDAS-körning genererar ILL-DIFF indata som direkt kan utnyttjas i DAGVL-DIFF.

Intresset för dämninganalyser har ökat under senare år främst på grund av ett växande intresse för funktionskontroll av befintliga ledningar. Utnyttjandet av dämningmodeller har dock hitintills varit synnerligen begränsat. De modeller som utnyttjats i Sverige är SWMM-EXTRAN och DAGVL-DIFF, företrädesvis då i projekt av forsknings- och utvecklingskaraktär men även i direkta konsultuppdrag.

Den som är intresserad av att använda SWMM-EXTRAN bör ta kontakt med civ.ing. Johan Larsson, VBB, Stockholm, som är av VAV utsedd modellförvaltare för denna modell. Modellförvaltare för ILLUDAS är inst.f. vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola (kontaktperson är där civ.ing. Henriette Melin).

2. VILKA LEDNINGSSYSTEM, KNUTPUNKTER OCH TILLRINNINGAR KAN DAGVL-DIFF BEHANDLA

2.1 Ledningssystemet

Enbart konvergerande (trädformade) ledningssystem är tillåtna.

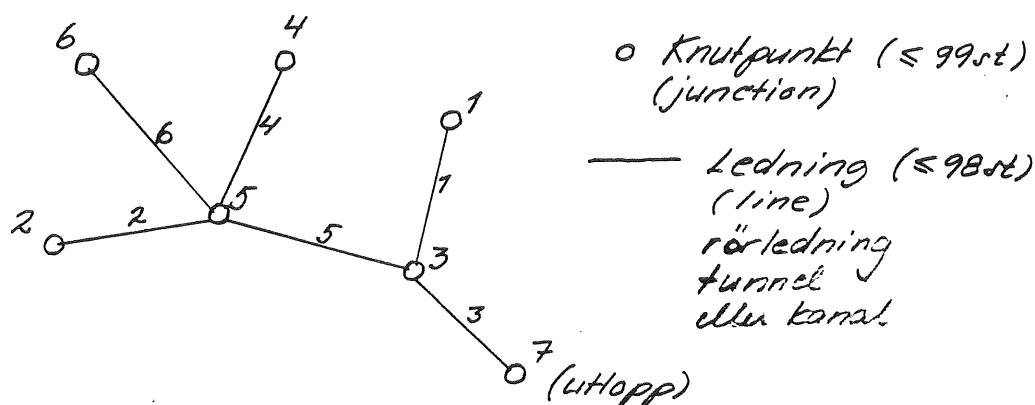


Fig. 2.1 Konvergerande ledningssystem

Knutpunkterna får numreras i godtycklig följd. Dock måste utloppsbrunnens nummer vara lika med totala antalet brunnar.

Ledningen nedströms knutpunkten har samma nummer som knutpunkten.

2.2 Knutpunkter¹⁾

Knutpunkterna kan vara av följande typ:

- uppströms ledningsbrunn (ingen inkommande ledning)
- ledningsbrunn med en inkommande ledning
- " " " två " " ledningar
- " " " tre " " ledningar
- fiktiv brunn (två ledningar förbinds utan brunn, tryckförlust eller extern tillrinning)
- utloppsbrunn (endast en inkommande ledning)
- bräddavlopp (endast en inkommande ledning)

¹⁾ Sjöar och sammanbindningspunkter mellan kanaler (tunnlar) simuleras som brunnar. Även uppströmsknutpunkt måste finnas.

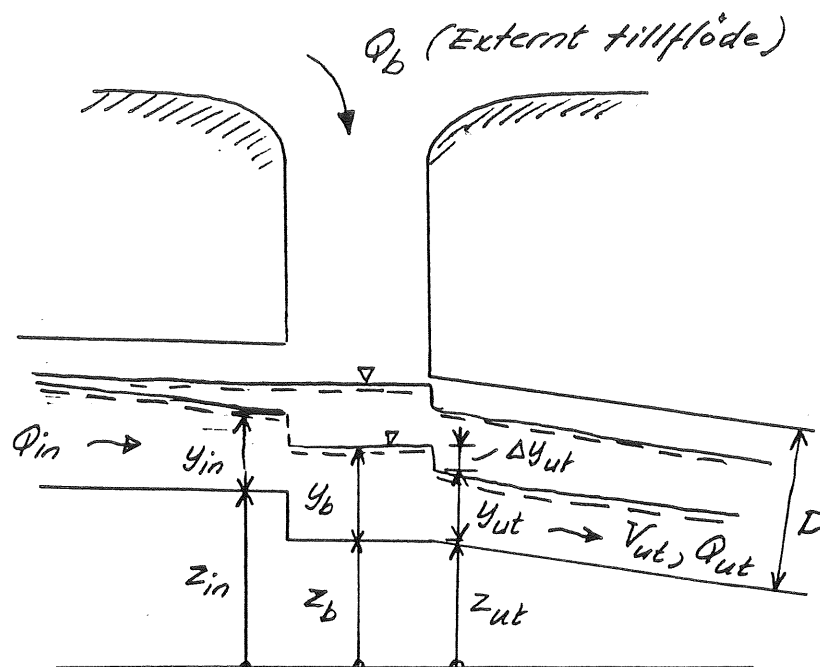
2.2.1 Ledningsbrunn

Fig. 2.2 Beräkning av tryckförlust i ledningsbrunn (Q = flöde, V = hastighet, y = vattendjup och z = nivå)

Tryckförlusten vid utloppet beräknas enligt formeln

$$y_b - y_{ut} = \Delta y_{ut} = C \cdot \frac{V_{ut}^2}{2g} \quad \dots (2.1)$$

där C är en tryckförlustkoefficient som varierar med relativa vattendjupet y_{ut}/D i utloppsledningen enligt figur 2.3.

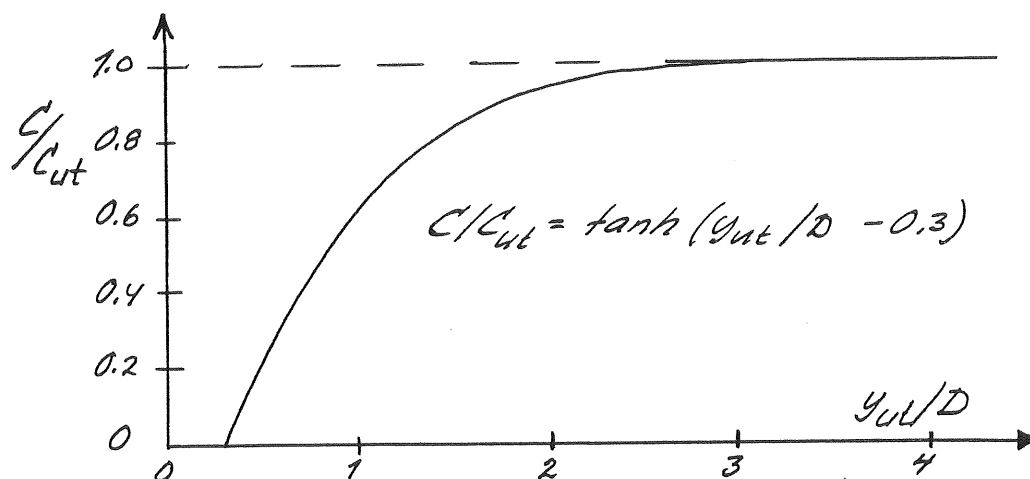


Fig. 2.3 Tryckförlustkoefficientens C variation med relativa vattendjupet y_{ut}/D i utgående ledning. C_{ut} är en konstant som ges som indata

Vid varje tidssteg i beräkningen genomförs en analys av flödessituationen och bestäms vilket randvillkor som skall utnyttjas för inkommande ledning. I grundversionen av DAGVL-DIFF (ledningsflödet beräknas där mha den s.k. diffusivvåg-ekvationen) utnyttjas då följande villkor:

$$y_{in} + z_{in} = y_b + z_b \quad \text{om} \quad y_b + z_b > y_{norm} + z_{in}$$

(flödet i inkommande ledning dämnes) ... (2.2)

$$y_{in} = y_{norm} \quad \text{om} \quad y_b + z_b < y_{in}^{norm} + z_{in}$$

(ej dämning)

där

y_{norm} = normaldjup (naturligt djup) vid aktuellt flöde

Denna analys genomförs oberoende för alla inkommande ledning. Se vidare kap. 3.

För själva brunnen görs följande kontinuitetsbetraktelse:

$$(\sum Q_{in} + Q_I - Q_{ut}) \Delta t = \text{ökning av i brunnen} \quad \dots (2.3)$$

magasinerad volym under tiden Δt

30 cm under marknivån vidgar sig brunnsarean i form av en cirkulär tratt enligt figur 2.4.

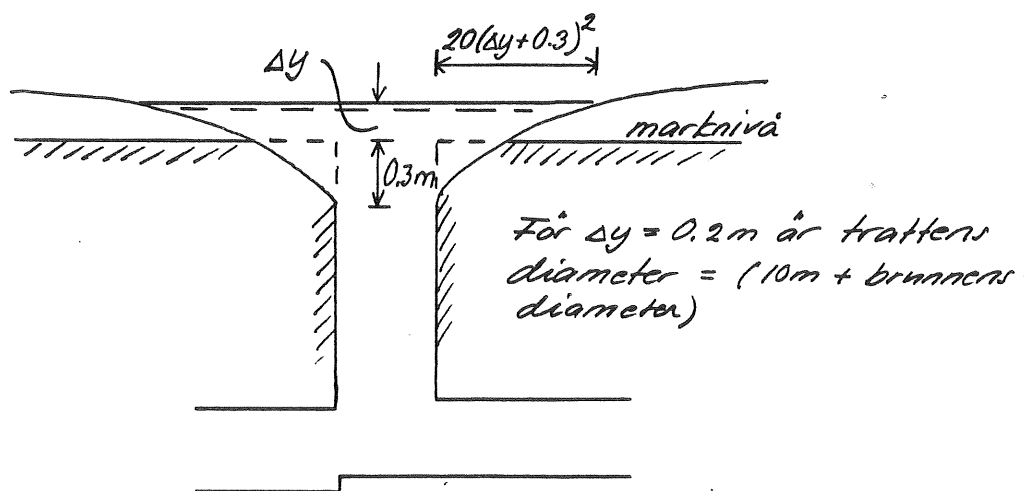


Fig. 2.4 Simulering av magasinering på markytan då trycklinjen är över marknivån. Magasinerat vatten återförs till systemet när trycklinjen sjunker.

2.2.2 Utloppsbrunn

Ledningssystemet förutsättes mynna i en utloppsbrunn för vilken ett av följande villkor kan anges

- vattennivå i brunnen som funktion av tiden
- avbördningskurva för utflödet från brunnen
- utflödet från brunnen som funktion av tiden

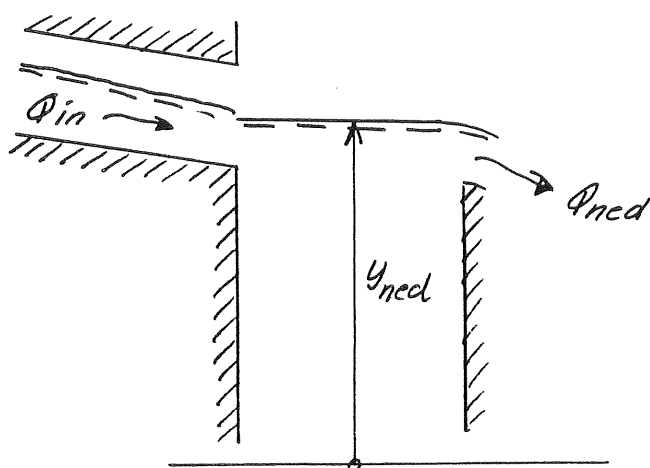


Fig. 2.5 Utloppsbrunn. Inget externt tillflöde.
Endast en inkommande ledning.

Given vattennivå y_{ned}

Utflödet Q_{ned} från brunnen ges i detta fall genom en volymbalans för brunnen

$$(Q_{ned} - Q_{in}) \Delta t = \text{förändring i magasinerad volym} \dots (2.4) \\ \text{i brunnen under tiden } \Delta t$$

Om $y_{ned} = \text{konstant}$ erhålles således $Q_{ned} = Q_{in}$.

Given avbördningskurva (Q_{ned}, y_{ned})

Q_{ned} är då en funktion av vattennivån i brunnen.

Givet utflödet Q_{ned}

Q_{ned} ges som funktion av tiden. Förändringar i vattennivån i brunnen beräknas mha ekv. (2.4).

2.2.3 Bräddavlopp

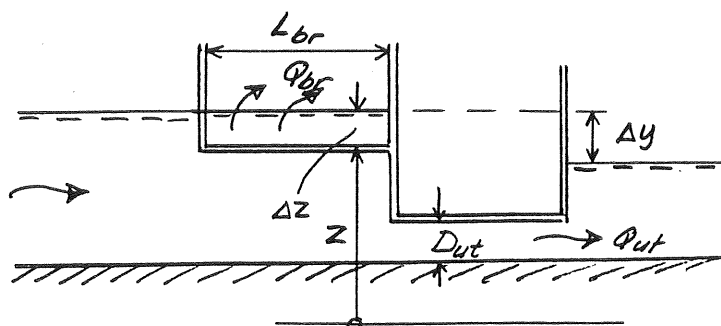


Fig.2.6 Bräddavloppets principiella uppbyggnad.
Bräddavlopp får endast ha en inkommande ledning.

Det bräddade flödet, Q_{br} , beräknas enligt formeln

$$Q_{br} = C_{br} L_{br} \sqrt{2g} \Delta z^{3/2} \quad \dots (2.5)$$

där C_{br} är en konstant. Övriga storheter framgår av fig. 2.6.

Nedströmsutloppet förutsättes vara dämt. Utflödet beräknas med formeln

$$Q_{ut} = C_{ut} \frac{\pi \cdot D^2}{4} \sqrt{2g\Delta y} \quad \dots (2.6)$$

där C_{ut} är en konstant.

2.3 Ledningssektioner

De i DAGVL-DIFF tillåtna ledningssektionerna framgår av fig. 2.7.

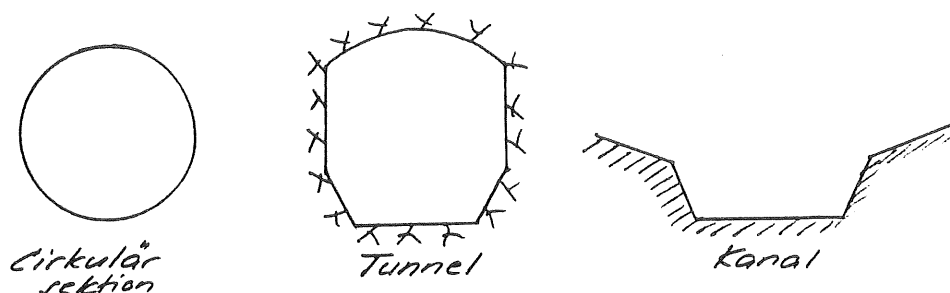


Fig. 2.7 I DAGVL-DIFF tillåtna ledningssektioner

För cirkulär sektion kan flödeskapaciteten beräknas mha allmänna friktionsformeln (givet värde på ekvivalenta sandråheten) eller Mannings formel. Vid tunnel- eller kanalsektion kan endast Mannings formel användas. Mannings tal kan då ges olika värden för botten och väggar.

2.4 Tillrinning till ledningssystemet

Tillrinningen till systemet förutsättes ske dels i brunnarna, dels direkt till ledningarna.

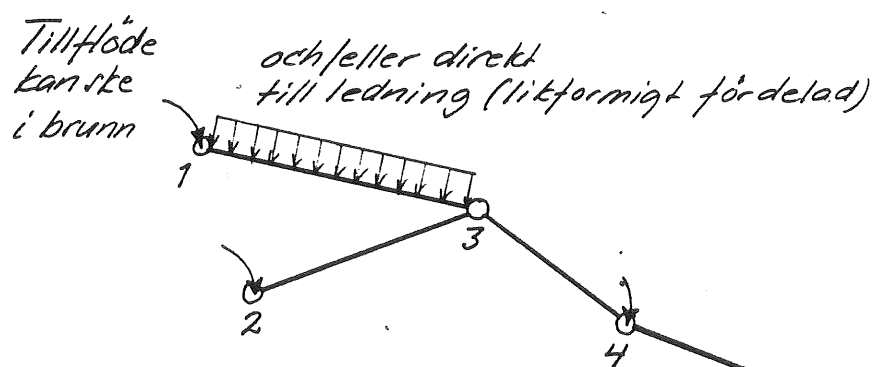


Fig. 2.8 Tillrinning till ledningssystemet

Basflöde

För att beräkningarna skall kunna startas krävs som begynnelsevillkor att vattenstånd och vattenföring är givna i varje

beräkningssektion. Sålunda krävs alltid att man som indata ger ett stationärt basflöde till ett antal knutpunkter/ledningar. Beräkningen av mot basflödet svarande vattenstånd sker stegvis ledning för ledning i uppströms riktning.

Alltför små initiella vattendjup (basflödesdjup) kan ge numeriska problem speciellt vid stora och snabba flödesökningar.

Det är inte nödvändigt att ge basflöde till alla knutpunkter eller ledningar. Vattendjupet får dock ej vara noll. Om basflödet i t.ex. ledning 1 är noll måste således vattennivån i knutpunkt 3 stå högre än ledningens 1 nivå i uppströmsänden. Vi får då en horisontell vattenyta längs hela ledning 1. Detta ställer givetvis vissa krav på basflödets storlek nedströms knutpunkt 3.

I tiden varierande tillrinning

Denna tillrinning (vilken adderas till basflödet) kan ges på två olika sätt

- given tillrinning till brunn/ledning som funktion av tiden
- tillrinningen beräknas av programmet enligt tid-areametoden för givet blockregn (= regn med konstant intensitet under given varaktighet). Tid-areasambandet för det till knutpunkten/ledningen hörande avrinningsområdet antas vara linjärt. Tillrinningen får då den fördelning i tiden som visas i fig. 2.9.

Tillrinningen till en knutpunkt kan vara negativ, vilket innebär att ett i tiden givet vattenuttag kan simuleras. En förutsättning är givetvis att erforderlig vattenmängd finns tillgänglig.

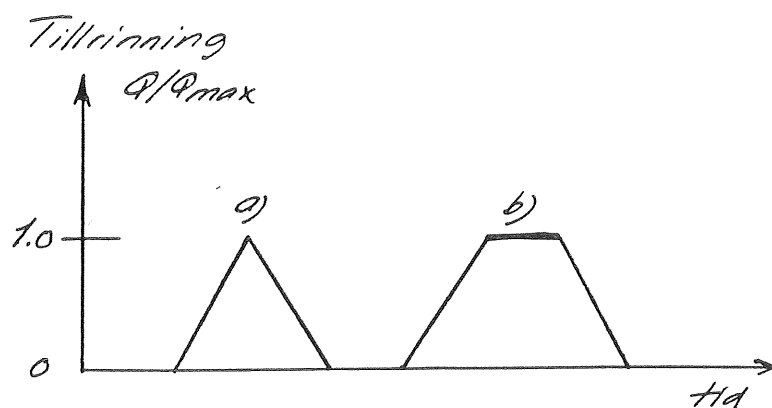


Fig. 2.9 Tillrinningens variation i tiden
 a) blockregnets varaktighet = flyttiden inom
 avrinningsområdet
 b) blockregnets varaktighet $\neq$ flyttiden

3. GRUNDLÄGGANDE EKVATIONER FÖR BERÄKNING AV LEDNINGSFLÖDE

3.1 Stationär, likformig strömning med fri vattenyta

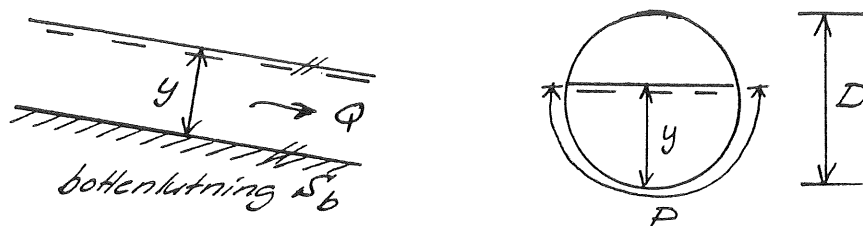


Fig. 3.1 Stationär, likformig strömning med fri vattenyta i cirkulär ledning

Vattendjupet y vid stationär, likformig strömning i en kanal med konstant tvärsektion A och konstant bottenlutning S_b är entydigt bestämt av vattenföringen Q . Om vi utnyttjar Mannings formel erhålles

$$Q = M A R^{2/3} S_b^{1/2} \quad \dots (3.1)$$

där M = Mannings tal och R = hydrauliska radien A/P , där P är våta perimetern. Det vattendjup som satisfierar ekv. (3.1) kallas för det naturliga vattendjupet y_{norm} (på engelska "normal depth").

När vattendjupet y_{norm} = ledningens diameter D är vattenföringen lika med Q_{full} , som ges av sambandet

$$Q_{\text{full}} = M_{\text{full}} A_{\text{full}} R_{\text{full}}^{2/3} S_b^{1/2} \quad \dots (3.2)$$

där $A_{\text{full}} = \pi D^2/4$ och $R_{\text{full}} = D/4$.

Ekv. (3.1) och ekv. (3.2) ger om $M = M(y)$

$$\frac{Q}{Q_{\text{full}}} = \frac{M A R^{2/3}}{M_{\text{full}} A_{\text{full}} R_{\text{full}}^{2/3}} = F(y/D) \quad \dots (3.3)$$

Likformig strömning $\Rightarrow Q = Q_{\text{full}} \cdot F(y/D)$

Vid likformig strömning är alltså kvoten Q/Q_{full} en entydig funktion av relativa vattendjupet y/D . Funktionen $F(y/D)$ brukar benämnas delfyllnadsfunktion.

Den med ekv. (3.3) och $M=M_{full}$ =konstant beräknade delfyllnadsfunktionen för cirkulär sektion redovisas i fig. 3.2 (betecknad teoretisk). Enligt denna funktion har sektionen sitt kapacitetsmaximum vid fyllnadshöjden $y/D = 0,94$. Denna "överkapacitet" bör emellertid ej utnyttjas vid praktisk dimensionering eftersom en dämning över motsvarande fyllnadsgrad leder till en kapacitetsminskning.

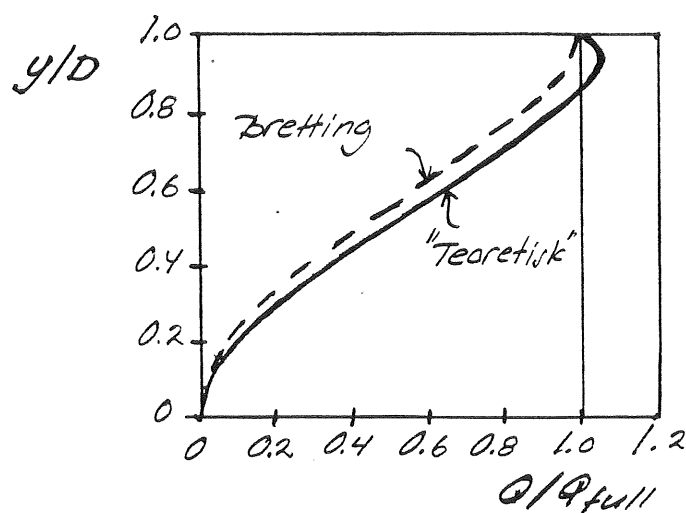


Fig. 3.2 Alternativa delfyllnadsgradfunktioner $Q/Q_{full} = F(y/D)$ för cirkulär sektion med diametern D

I Sverige rekommenderas i VAV P28 (1976) följande fyllnadsgradsfunktion (markerad "Bretting" i fig. 3.2)

$$\frac{Q}{Q_{full}} = 0.46 - 0.5 \cos(\pi y/D) + 0.04 \cos(2\pi y/D) \quad \dots (3.4)$$

vilken ej har någon maximipunkt och som verkar stämma bättre med experimentella resultat än vad kurvan "Teoretisk" gör. I DAGVL-Diff får användaren ange vilken av dessa funktioner han vill använda.

Q_{full} kan vid cirkulär sektion beräknas antingen utifrån ekv. (3.2) eller mha allmänna friktionsformeln (Darcy-Weisbachs formel)

$$Q_{full} = A_{full} \sqrt{\frac{8gR S_b}{f}} \quad \dots (3.5)$$

där f är friktionskoefficienten vilken för helt fylld cirkulär sektion beräknas enligt Colebrooks formel

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.71D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad \dots (3.6)$$

där k är ledningens ekvivalenta sandråhet och Re är Reynolds tal VD/ν där V är medelhastigheten Q/A och ν vattnets kinematiska viskositet.

Som framgår av ekv. (3.5) är Q_{full} en linjär funktion av $1/\sqrt{f}$ varför f kan elimineras ur ekv. (3.6). Vi får

$$Q_{full} = 2 A_{full} \sqrt{2gD S_b} \log \left[\frac{k}{3.71D} + \frac{2.51\nu}{D\sqrt{2gDS_b}} \right] \dots (3.7)$$

För icke-cirkulär sektion utnyttjade samband för beräkning av Q_{full} och $F(y/D)$ redovisas i Appendix A.

3.2 Kontinuitets- och rörelsemängdekvation för icke-stationär, svagt föränderlig¹⁾ strömning med fri vattenyta

För beskrivningen av ett icke-stationärt flödesförlopp erfordras två ekvationer:

- en kontinuitetsekvation baserad på lagen om massans oförstörbarhet
- en rörelsemängdekvation erhållen ur Newtons andra lag.

1)

Strömningen är svagt föränderlig om vattendjup och hastigheter varierar långsamt i tid och rum. Vid t.ex. en plötslig sektionsändring är strömningen ej svagt föränderlig. I sådana fall erhålles ofta virvelbildningar som ger upphov till energiförluster (tilläggsförluster) som ej kan beaktas mha differentialekvationen för svagt föränderlig strömning.

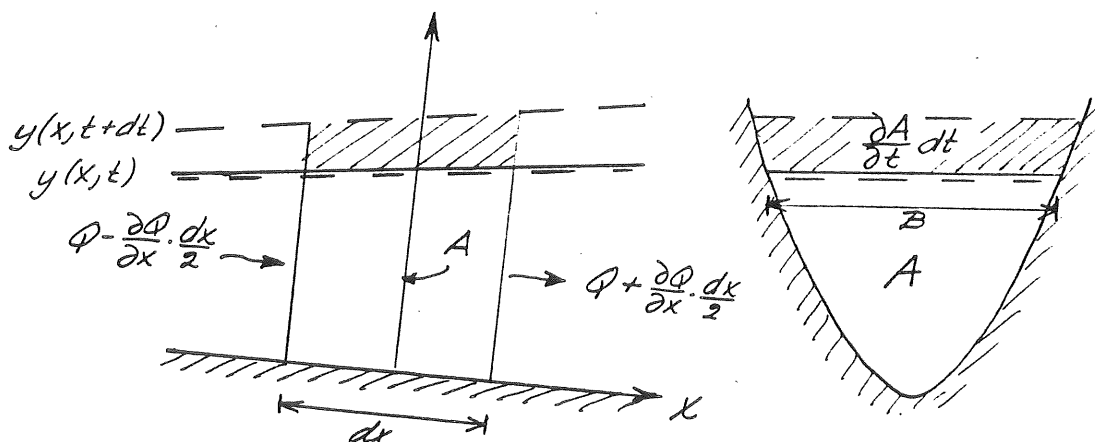


Fig. 3.3 Kanalströmning med fri vattenyta B är sektionens bredd i vattenytan

Med beteckningar enligt fig. 3.3 får dessa två ekvationer utseendet

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad \dots (3.8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} = gA(S_b - S_f) \quad \dots (3.9)$$

där $S_f = Q^2 / (M^2 A^2 R^{4/3})$ = den s.k. friktionslutningen. (För härledning se t.ex. Sjöberg (1976) eller Cederwall, Larsen (1976)). Vid likformig strömning är alltså $S_f = S_b$.

Kontinuitetsekvationen (3.8) är alltså baserad på villkoret att nettoinflödet av vätska till delsträcka dx av kanalen måste vara lika med volymökningen per tidsenhet längs denna sträcka. Vi har då förutsatt att vätskan är inkompressibel och att dess densitet är konstant.

Eftersom $\frac{\partial A}{\partial t} = B \frac{\partial y}{\partial t}$ kan ekv. (3.8) även skrivas

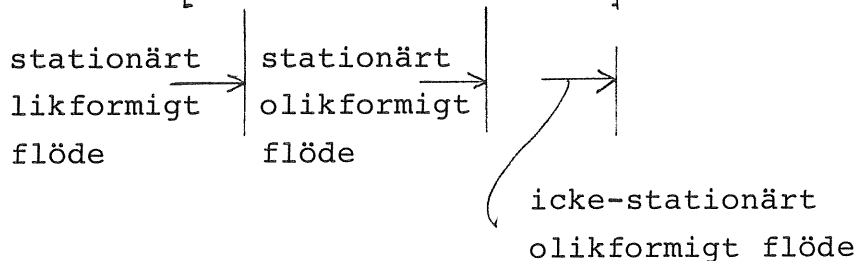
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad \dots (3.10)$$

Om vi sätter in uttrycket på S_f i ekv. (3.9) erhålles

$$Q = M A R^{2/3} \left[S_b - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) - \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} \right]^{1/2} \quad \dots (3.11)$$

Genom att införa medelhastigheten $V = Q/A$ och utnyttja kontinuitetsekvationen kan vi överföra ekv. (3.11) till utseendet

$$Q = M A R^{2/3} \left[S_b - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \right]^{1/2} \quad \dots (3.12)$$



Om y och V ej varierar längs kanalen eller i tiden så reduceras sålunda (3.12) till ekv. (3.1), dvs den beskriver stationärt likformigt flöde. För det fall att flödet är icke-stationärt måste vi alltså ta hänsyn till att flöde och vattenstånd varierar längs kanalen och i tiden.

De fullständiga rörelseekvationerna (3.8-3.9) (benämnes även Saint-Venants ekvationer och dynamisk våg-ekvationerna) har visat sig kunna väl beskriva strömningsförlopp i kanaler och rörledningar. De har dock ingen generell analytisk lösning varför man måste utnyttja numerisk lösningsmetodik.

En jämförelse mellan mha datormodellen DAGVL-B (en föregångare till DAGVL-DIFF baserad på dynamisk vågekvationerna) beräknade och experimentellt uppmätta flödesförlopp i ett 85 m långt plaströr redovisas i fig 3.3. Överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta vattenstånd är som framgår mycket god.

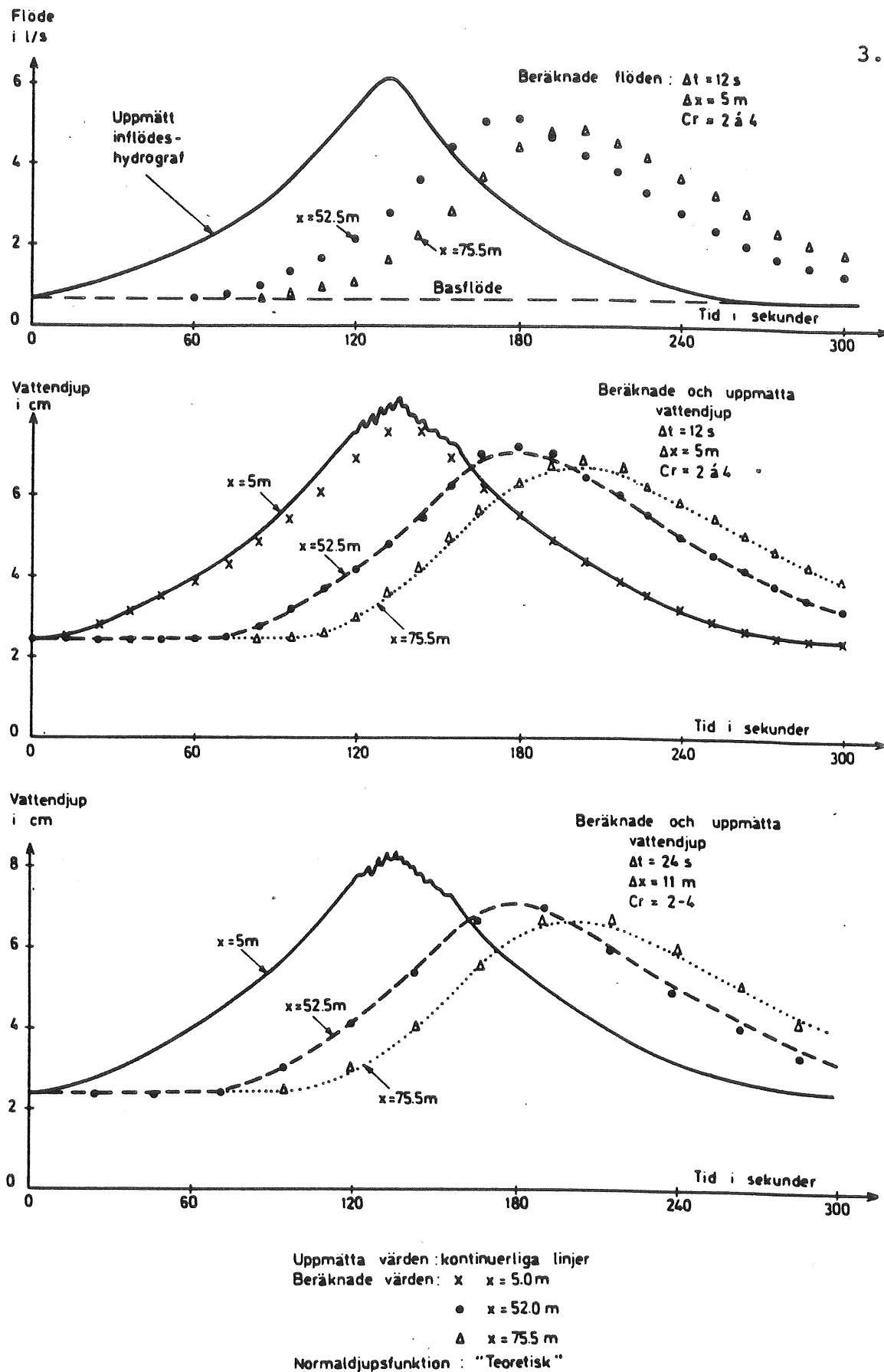


Fig 3.3 Laboratorieförsök vid inst. f. vattenbyggnad, CTH
 Jämförelse mellan uppmätta och med DAGVL-B (datormodell baserad på dynamisk våg-ekvationerna) beräknade vattendjup. $D=0,105 \text{ m}$, $S_b=5 \text{ o/oo}$, $Q_{full} = 6,3 \text{ l/s}$. Efter Sjöberg (1976).

I de fall vattensprång uppstår i en ledning erhålles i de flesta en icke kontrollerbar instabilitet i den numeriska lösningen. Denna sammanhänger med att differentialekvationen i övergången från stråkande tillstånd (Froudes tal $Fr = V/\sqrt{gA/B} > 1$) till strömmande tillstånd ($Fr < 1$) ej har någon entydig lösning. Speciell lösningsteknik måste därför tillämpas. Någon sådan har emellertid ej utvecklats för DAGVL-DIFF varför dynamisk våg-ekvationerna ej går att utnyttja då vattensprång uppträder. (Möjlighet att utnyttja de fullständiga rörelseekvationerna finns dock inbyggd i DAGVL-DIFF).

3.3 Förenklade rörelseekvationer

I många tillämpningar har flödet sådan karaktär och egenskaper att det är möjligt att beskriva flödesförloppet mha en förenklad rörelsemängdekvation. Sådana förenklade rörelseekvationer är de s k

- kinematisk våg-ekvationerna
- diffusiv våg-ekvationerna

3.3.1 Kinematisk våg

De flacka (långa) flödesvågor som uppkommer vid långsamma flödesändringar karakteriseras av att

$$S_b \gg \frac{\partial y}{\partial x}; S_b \gg \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x}; S_b \gg \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3.13)$$

Bottenlutningen S_b är alltså väsentligt större än övriga "gradienttermer" i rörelsemängdekvationen (3.12). Detta innebär att rörelseekvationerna kan skrivas

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \\ Q = M A R^{2/3} S_b^{1/2} \end{cases} \quad (3.14)$$

vilka definierar en s k kinematisk våg: Denna karakteriseras av

- att sambandet mellan Q och y är detsamma som vid likformig strömning och att Q således är en entydig funktion av vattendjupet y .
- att varje punkt på vågprofilen förflyttar sig med den mot det aktuella djupet svarande s k kinematiska våghastigheten

$$C_k = \frac{dQ}{dA} \quad (3.15)$$

- att vågen ej dämpas

Låt oss förutsätta en mycket bred kanal. Vi kan då sätta $R=y$ och $A=By$. Om M är konstant erhålles då

$$\begin{aligned} C_k &= \frac{dQ}{dA} = \frac{1}{B} \frac{dQ}{dy} = \frac{1}{B} \frac{d}{dy} (My^{5/3} S_b^{1/2}) \\ &= \frac{1}{B} \frac{5}{3} M y^{2/3} S_b^{1/2} = \frac{5}{3} \frac{Q}{By} = \frac{5}{3} V \end{aligned} \quad (3.16)$$

Punkterna på vågprofilen förflyttar sig alltså snabbare än medelhastigheten och C_k växer med vattendjupet. Detta inne-

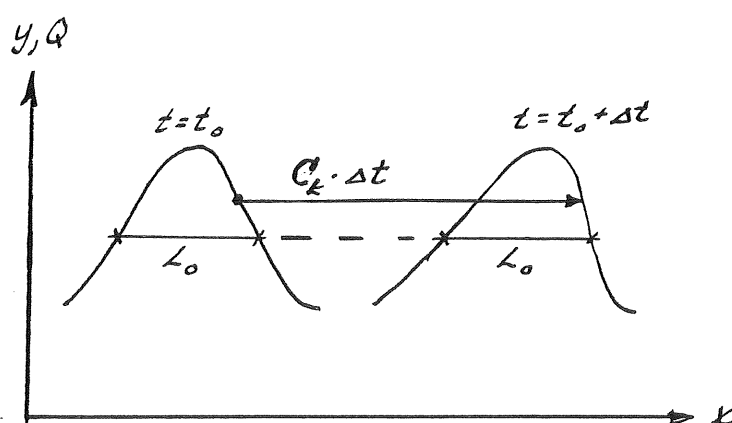


Fig. 3.4 Formändring hos "kinematisk våg". Vågprofilens utseende vid tidpunkterna t_0 och $t_0 + dt$

bär att den "kinematiska vågens" framsida kommer att bli successivt brantare allteftersom den rör sig nedströms vattendraget. Vågen ändrar form men den bibehåller sitt maximidjup och maximiflöde, fig 3.4. Den successiva uppbrantningen av vågen leder så småningom till att vågtoppen hinner ifatt vågfronten.

Den kinematiska vågteorin beskriver en våg som bibehåller sitt maximidjup och maximiflöde. Normalt dämpas vågtoppen således. Vidare betraktas ej förhållandena nedströms om vågen varför den ej kan utnyttjas när nedströms randvillkor (t ex en hög vattennivå) signifikant påverkar flödesförloppet (dämning).

Direkta numeriska lösningar av ekv (3.14) leder ofta till besvärande parasitisk vågbildning i den erhållna lösningen. I stället utnyttjas därför en approximativ metod som introducerar en artificiell dämpning av vågen. En sådan numerisk lösning är den s k "icke-linjära magasinsmodellen" som utnyttjas i ILLUDAS, NIVA-modellen och CTH-avrinningsmodell, se Sjöberg et al /1979), Lindholm (1975) och Arnell och Lyngfelt (1975). Ej heller denna typ av beräkningsmodell kan beakta dämpningseffekter.

3.3.2 Diffusiv våg

Svårigheten att utnyttja de fullständiga rörelseekvationerna i samband med vattensprång och den kinematiska vågteorins oförmåga att beskriva vågtoppens eventuella dämpning och beakta effekterna av nedströms randvillkor ledde till försök att utnyttja de s k diffusiv våg-ekvationerna

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x} = S_b - S_f \end{cases} \quad (3.17)$$

där alla gradienttermer utom $\partial y / \partial x$ försummats.

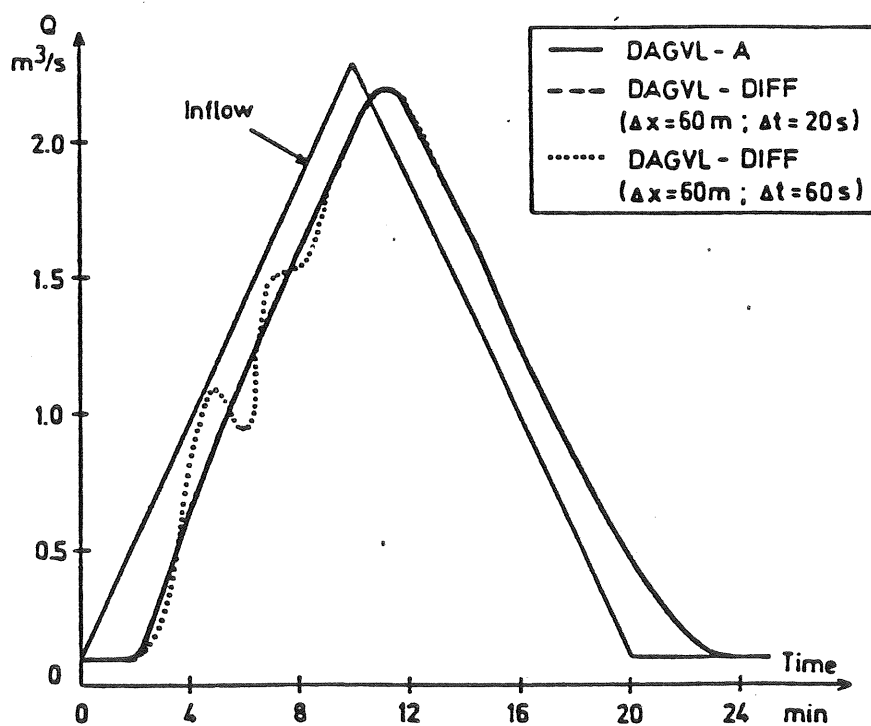
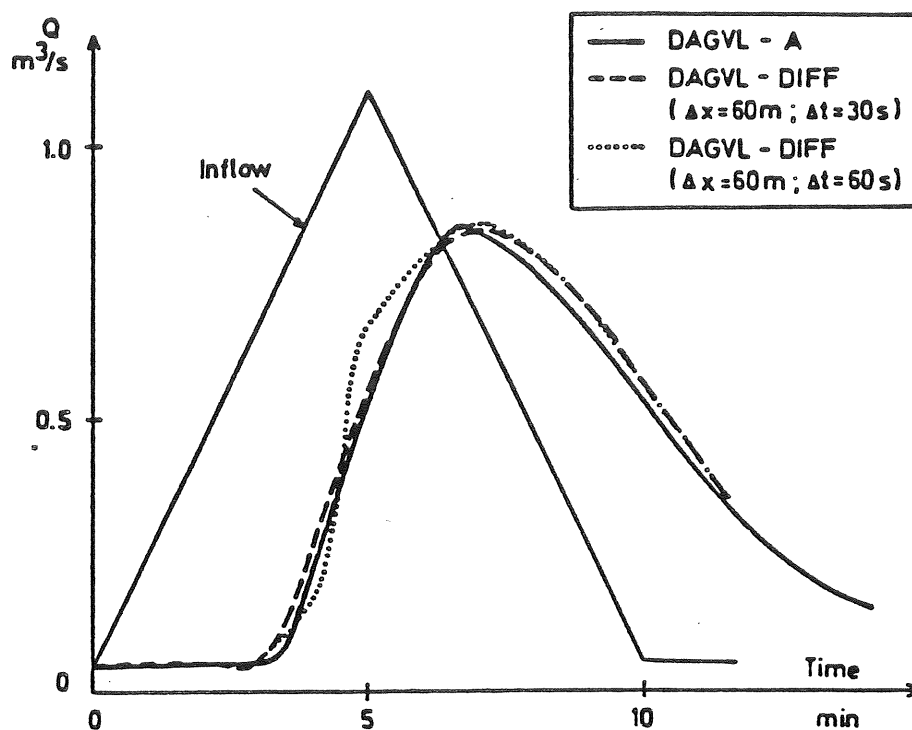


Fig. 3.5 Med DAGVL-A (dynamisk våg-ekvationer) och DAGVL-DIFF (diffusiv vågekvation) Beräknade utloppshydrografer. Angående val av Δt , se kap. 7.1.

Man kan visa (Sjöberg 1976) att om Froudes tal $Fr \ll 1$ så gäller att

$$\frac{\partial y}{\partial x} \gg \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}; \quad \frac{\partial y}{\partial x} \gg \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3.18)$$

De diffusiva våg-ekvationerna är således en bra approximation av dynamiska våg-ekvationerna om $Fr \ll 1$. Man kan dessutom visa att de två försummade gradienttermerna är av samma storleksordning men att de har motsatt tecken. Diffusiva våg-ekvationerna borde därför kunna vara användbara även om villkoret $Fr \ll 1$ ej är uppfyllt. Jämförande beräkningar visar att så är fallet, se fig 3.5.

Den stora fördelen med diffusiva våg-ekvationerna är emellertid att de eliminerar problemet med vattensprång. Ekv (3.17) ger nämligen en kontinuerlig övergång från strömmande till stråkande tillstånd, fig 3.6. Vi introducerar dock då ett

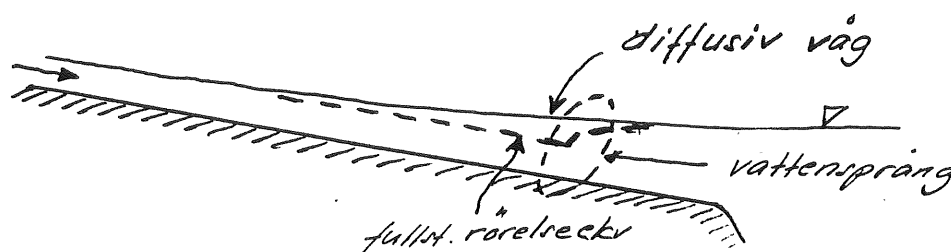


Fig. 3.6 Diffusiva våg-ekvationerna ger en kontinuerlig övergång mellan strömmande och stråkande tillstånd.

volymfel (för mycket vatten magasineras i ledningen) men detta fel torde vara försumbart i de allra flesta tillämpningar. Även de fullständiga rörelseekvationerna skulle gett ett volymfel såvida inte mycket kostnadskrävande numeriska lösningsmetoder tillgripes.

Diffusiva våg-ekvationerna kan alltså utnyttjas även för beräkning av dämnda flödesförlopp.

3.4 Randvillkor för ledning

För att man skall kunna lösa dynamisk våg-ekvationerna och diffusiv våg-ekvationerna krävs att man ger två randvillkor. Dessa ges på ett förenklat sätt i DAGVL-DIFF. Beträffande tryckförlust vid utströmning från brunn, se kap 2.2.1.

3.4.1 Diffusiv våg

I ledningens uppströmsände förutsättes tillflödet Q vara givet som funktion av tiden. I nedströmsänden kontrolleras om

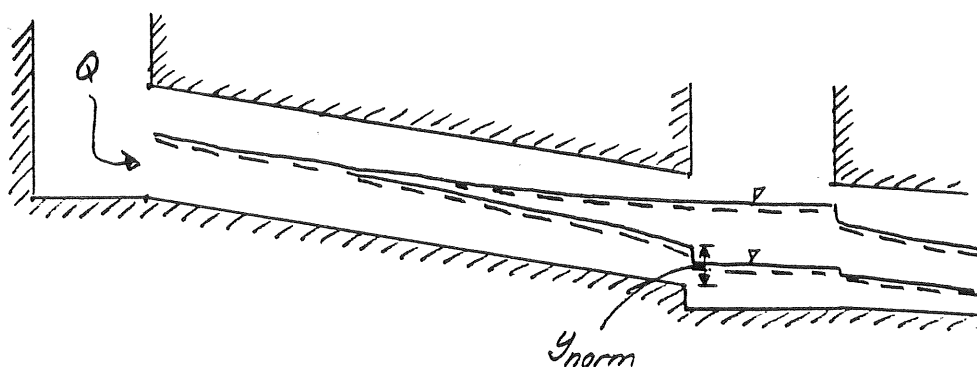


Fig 3.7 Om vattennivån i brunnen står högre än i inkommande ledning dämms det inkommande flödet

vattennivån i brunnen står högre än vad som motsvarar normaldjupet för det inkommande flödet. Om detta är fallet sättes vattennivån i ledningens utlopp i brunnen lika med nivån i brunnen. I annat fall sättes vattendjupet lika med y_{norm} .

3.4.2 Dynamisk våg

Randvillkoren för dynamisk våg är korrekt formulerade i DAGVL-DIFF endast för strömmande tillstånd ($Fr < 1$). Då genomföres en kontroll av om det inkommande flödet är dämt eller ej enligt fig 3.7, men med det kritiska djupet

$$y_{krit} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gA/B}} \quad \dots (3.19)$$

som referensdjup istället för y_{norm} . Uppströms randvillkor är givet flöde.

Vid stråkande tillstånd ($Fr > 1$) skulle egentligen randvillkoret vara kritiskt djup i ledningens uppströmsände. I DAGVL-DIFF utnyttjas emellertid samma randvillkor som för diffusiv våg, dvs givet flöde som uppströms randvillkor och referensdjupet y_{norm} vid nedströms rand.

Om ledningen har negativ lutning utnyttjas i DAGVL-DIFF alltid dynamisk våg-ekvationerna.

Vissa avsteg från reglerna ovan kan göras i DAGVL-DIFF, se kap 4.

4. OLIKA SÄTT ATT BERÄKNA FLÖDESFÖRLOPPET I LEDNINGAR I DAGVL-DIFF

DAGVL-DIFF tillåter användaren att själv ange på vilka ekvationer ledningsflödesberäkningen skall baseras. Vad beträffar beteckningarna diffusiv våg, dynamisk våg, referensdjup y_{norm} och y_{krit} , se kap 3.

DAGVL-DIFF_1 (grundversion)

Ledningar med lutning >0 : Diffusiv våg. Referensdjup vid dämpningskontroll är y_{norm}

Ledningar med lutning <0 : Dynamisk våg. Referensdjup vid dämpningskontroll är y_{krit}

Om användaren ej specificerar annan modellvariant utnyttjas DAGVL-DIFF 1.

DAGVL-DIFF_2

Denna version skiljer sig från DAGVL-DIFF1 genom att dynamisk våg-ekvationerna utnyttjas för de ledningar i vilka strömningen aldrig kan bli stråkande, dvs för vilka $Fr_{\text{max}} < 1$, dvs om $Fr < 1$ oberoende av fyllnadsgraden. Referensdjup är även då y_{norm} .

DAGVL-DIFF_3

I denna version måste användaren för varje ledning specificera vilken ekvation och vilka randvillkor som skall utnyttjas. Följande alternativ finns:

1. Diffusiv våg. Referensdjup: y_{norm}
2. Diffusiv våg. Referensdjup: y_{norm} om $Fr > 1$
 y_{krit} om $Fr < 1$

5. STRÖMNING I HELT FYLLD SEKTION

Vid analys av flödesförlopp i t ex dagvattenledningar är det givetvis en fördel om vi kan utnyttja samma rörelseekvationer vid helt fylld ledningssektion (rörströmning) och som vid delvis fylld sektion (kanalströmning)

De ekvationer som diskuterats i kap 3 gäller för strömning med fri vattenyta, dvs för kanalströmning. En analys av de fullständiga rörelseekvationerna (dynamisk våg) visar att kanalvågor karakteriseras av de två dynamiska våghastigheterna.

$$\begin{aligned} C_+ &= V + \sqrt{gA/B} \\ C_- &= V - \sqrt{gA/B} \end{aligned} \quad (\text{kanalströmning}) \quad (5.1)$$

Detta kan tolkas så att en störning som införes i flödet kommer att breda ut sig i nedströms riktning med hastigheten C_+ och i uppströms riktning (mot flödesriktningen) med hastigheten C_- .

En motsvarande analys för de fullständiga rörelseekvationerna för rörutströmning (se t.ex. Sjöberg, 1976 och Watters (1979)), där vi vid härledningen tar hänsyn till vattnets och rörets elastiska deformation, ger våghastigheterna

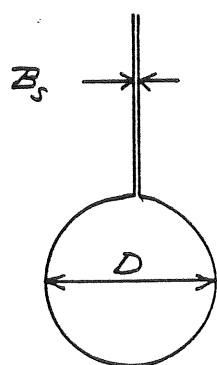
$$\begin{aligned} C_+ &= V + a \\ C_- &= V - a \end{aligned} \quad (\text{rörströmning}) \quad (5.2)$$

där a är elastiska tryckvågor utbredningshastighet i röret, vilken för betongrör är av storleksordningen 500 m/sek.

De rörelseekvationer vi utnyttjar för strömning i helt fylld sektion bör alltså karakteriseras av våghastigheter enligt ekv. (5.2). En jämförelse mellan ekv (5.1) och (5.2) visar att vi skulle kunna tillgodose detta villkor med dynamisk våg-ekvationerna om vi vid helt fylld sektion då låter B anta ett sådant värde B_s att

$$\sqrt{\frac{gA_{full}}{B_s}} = a \quad B_s = \frac{gA_{full}}{a^2} \quad (5.3)$$

Detta innebär att strömning i helt fylld sektion kan beräknas mha rörelseekvationerna för kanalströmning om vi inför en smal spalt i rörets hjässa enligt fig 5.1.



$$D=0.700m$$

$$a=500m/s \quad B_s=1.5 \cdot 10^{-5} m$$

$$a=50m/s \quad B_s=0.15 \cdot 10^{-2} m$$

$$A_{full} = \frac{\pi D^2}{4}$$

Fig. 5.1 Strömning i helt fylld sektion överföres till strömning med fri vattenyta genom införandet av en smal spalt i rörets hjässa.

Som framgår av de i fig 4.1 redovisade värdena blir spalten mycket smal även om vi väljer ett så lågt värde på a som 50m/s. En alltför smal spalt kan ge problem vid den numeriska lösningen. Eftersom vi inte är intresserade av att studera störningar med en utbredningshastighet på 500m/s så utnyttjas i DAGVL-DIFF en spaltbredd svarande mot 50m/s. Detta värde kan dock ändras av användaren.

Det bör påpekas att överföringen av rörelseekvationerna för strömning i helt fylld sektion till strömning med fri vattenyta ej blir helt exakt genom införandet av spalten och utnyttjandet av de dynamiska rörelseekvationerna. Förfarandet innebär vissa approximationer vilka dock ej har någon betydelse för de flödesförlopp DAGVL-DIFF är avsedd för. DAGVL-DIFF kan dock ej utnyttjas för tryckslagsberäkningar. I sådana fall bör de ursprungliga s k tryckslagsekvationerna användas och framför allt bör en numerisk lösning mha karakteristikmetoden utnyttjas, se t ex Watters (1979).

Med hjälp av spalten kan alltså flödesförlopp som ger i fig 5.2 skisserade vattendjup (trycknivåer) beräknas

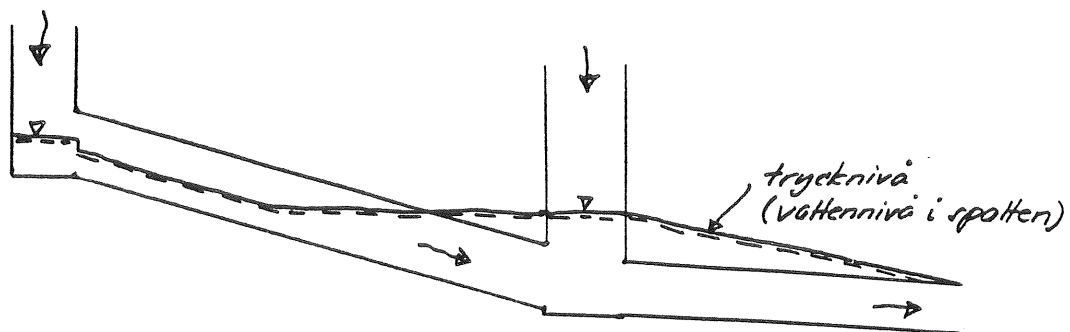


Fig 5.2 Med DAGVL-DIFF kan flödesförlopp med kontinuerlig övergång från delvis fylld till helt fylld tvärsektion beräknas.

6. NUMERISK LÖSNING AV RÖRELSEEKVATIONERNA

6.1 Olika numeriska lösningsmetoder

Det är ej möjligt att finna analytiska lösningar till rörelseekvationerna som med tillräcklig noggrannhet beskriver flödesförloppet i en kanal eller en dagvattenledning. Numerisk lösning måste därför tillgripas.

De numeriska metoderna kan indelas i följande kategorier.

- beräkning baserad på differentialekvationerna överförda i s k karakteristikform (karakteristikmetoden)
- beräkning med explicita eller implicita differens baserade på de ursprungliga differentialekvationerna.

De olika beräkningsprinciperna finns beskrivna i t ex Sjöberg (1976).

För både karakteristikmetoden och explicita metoder krävs för att man skall få numeriskt stabila lösningar att tidsteget Δt väljes så att

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{C} \quad (6.1)$$

där Δx är längden på de delsträckor en ledning delas in i vid beräkningen och C är den för differentialekvationerna karakteristiska våghastigheten, se kap 5.

För en delvis fylld ledning är våghastigheten av samma storleksordning som flödets medelhastighet, V . För helt fylld sektion är våghastigheten mycket större. Enligt ekv (5.2) gäller att

$$C = V + a \quad (6.1)$$

där a är elastiska tryckvågors utbredningshastighet i röret. Även om vi väljer ett så lågt värde på a som 50m/s (utnyttjas i DAGVL-DIFF som standardvärde) så blir erforderligt tidssteg Δt mycket litet. Med $\Delta x = 50\text{m}$, $V = 1\text{m/s}$ och $a = 50\text{m/s}$ erhålles $\Delta t < 1\text{s}$, vilket är ett orimligt kort tidssteg för en beräkning som avser flödesförlopp med några timmars varaktighet.

Ur beräkningsekonomisk synpunkt är det önskvärt att kunna utnyttja en metod som ger numeriskt stabila beräkningar oberoende av valet av Δt , dvs där valet av Δt kan baseras enbart på överväganden rörande önskad beräkningsnoggrannhet. En sådan möjlighet ger implicita differensschema.

6.2 Implicit lösning av diffussiv våg-ekvationerna

För att illustrera principerna i den implicita differensmetoden skall vi demonstrera denna mha diffussiv våg-ekvationerna

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = 0 & (6.1a) \\ \frac{\partial y}{\partial x} = S_b - S_f & (6.1b) \end{cases}$$

där $S_f = Q^2 / (M^2 A^2 R^{4/3})$

Låt oss applicera dessa ekvationer på strömningen i en bred rektangulär kanal. Vi kan då sätta $R = y$ och $A = B y$.

*Tiden varierande
tillrinning*

*Sjö med konstant
vattennivå*

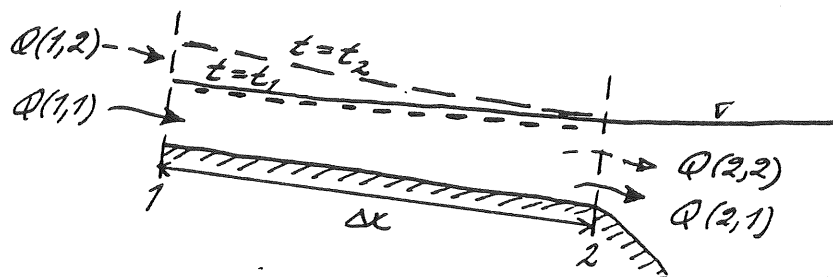


Fig 6.1 Strömning i bred rektangulär kanal med bottenlutningen S_b . Mannings tal $M =$ konstant oberoende av Q och y .

Vid tiden $t=t_1$ känner vi flöden och vattendjup i sektionerna 1 och 2 (fig 6.1);

$$\begin{aligned} Q(1,1) &= \text{flödet i sektion 1 vid tiden } t=t_1 \\ Q(2,1) &= \text{" " " 2 " " " " } \\ y(1,1) &= \text{vattendjupet i sektion 1 vid tiden } t=t_1 \\ y(2,1) &= \text{" " " 2 " " " " } \end{aligned}$$

Vi vill nu beräkna motsvarande flöden och vattendjup vid tiden $t_2=t_1+\Delta t$. Dessa är

$$\begin{aligned} Q(1,2) &= \text{flödet i sektion 1 vid tiden } t_2 \\ Q(2,2) &= \text{" " " 2 " " " " } \\ y(1,2) &= \text{vattendjupet i sektion 1 vid tiden } t_2 \\ y(2,2) &= \text{" " " 2 " " " " } \end{aligned}$$

vilka alla tills vidare betraktas som obekanta.

Vi skall nu approximera derivatorna i ekv. (6.1a) mha Q- och y-värdena ovan. Detta kan vi göra på följande sätt,¹⁾

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right)_{t_1} + \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right)_{t_2} \right] \quad (6.2)$$

där

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right)_{t_1} &\approx \frac{Q(2,1) - Q(1,1)}{\Delta x} \\ \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right)_{t_2} &\approx \frac{Q(2,2) - Q(1,2)}{\Delta x} \end{aligned}$$

På motsvarande sätt approximerar vi tidsderivatan,

$$B \frac{\partial y}{\partial t} \approx \frac{1}{2} \left[\left(B \frac{\partial y}{\partial t} \right)_1 + \left(B \frac{\partial y}{\partial t} \right)_2 \right] \quad (6.3)$$

där

$$\begin{aligned} \left(B \frac{\partial y}{\partial t} \right)_1 &\approx B \frac{y(1,2) - y(1,1)}{\Delta t} \\ \left(B \frac{\partial y}{\partial t} \right)_2 &\approx B \frac{y(2,2) - y(2,1)}{\Delta t} \end{aligned}$$

¹⁾ vi överför differentialekvationen till differensform

Detta sätt att approximera derivatorna innebär att man använder ett implicitschema av sk box-typ, fig. 6.2.

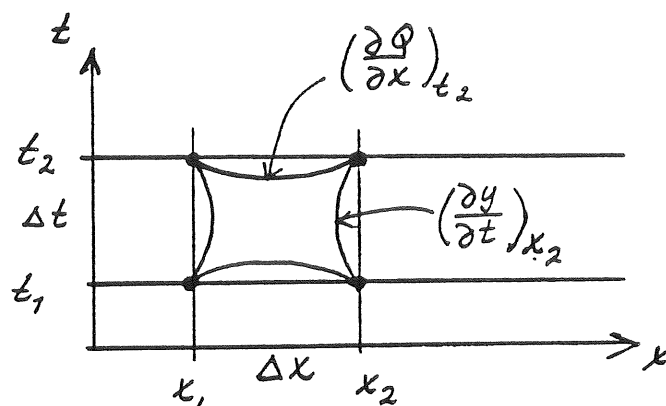


Fig. 6.2 Illustration av derivatornas approximering mha implicit differensschema av box-typ, sk Preissman-schema.

De obekanta variablerna var alltså $Q(1,2)$, $Q(2,2)$, $y(1,2)$ och $y(2,2)$. Efter insättning av ekv. (6.2) och (6.3) kan då ekv. (6.1a) skrivas

$$C_1 \cdot Q(1,2) + C_2 \cdot y(1,2) + C_3 \cdot Q(2,2) + C_4 \cdot y(2,2) = C_5 \quad (6.4)$$

där C_1 , C_2 , C_3 , C_4 och C_5 är koefficienter som alla är funktioner av kända storheter.

I DAGVL-DIFF utnyttjas en något annorlunda approximation av $\partial Q / \partial x$. Denna är

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx (1-\theta) \frac{Q(2,1) - Q(1,1)}{\Delta x} + \theta \frac{Q(2,2) - Q(1,2)}{\Delta x} \quad \text{..} \quad (6.5)$$

där θ är en viktningskoefficient.

En stabilitetsanalys visar nämligen att numeriska störningar lättare dämpas om man lägger större vikt vid $(\partial Q / \partial x)_{t_2}$ än vid $(\partial Q / \partial x)_{t_1}$, dvs om $\theta > 0,5$. Analysen ger följande villkor,

$$0,5 < \theta < 1,0 \quad (6.6)$$

Om vi sätter $\theta = 0,5$ överensstämmer ekv. (6.5) med (6.2). I DAGVL-DIFF rekommenderas att man sätter $\theta > 0,55$, se vidare kap. 7.

Vi skall nu approximera ekv. (6.1b) på ett liknande sätt. Eftersom det i denna ekvation ej ingår någon tidsderivata så kan vi approximera $\partial y / \partial x$ på ett enklare sätt än $\partial Q / \partial x$ i ekv. (6.2). Vi sätter

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{y(2,2) - y(1,2)}{\Delta x} \quad (6.7)$$

Termen S_b är en konstant. Friktionslutningen S_f är däremot en funktion av både flödet och vattendjupet,

$$S_f = \frac{Q^2}{M^2 B^2 y^{10/3}} \quad (6.8)$$

Det enklast sättet att approximera S_f är det följande

$$S_f \approx \frac{1}{2} [S_f(1,2) + S_f(2,2)] = \frac{1}{2} \left[\frac{Q(1,2)^2}{M^2 B^2 y(1,2)^{10/3}} + \frac{Q(2,2)^2}{M^2 B^2 y(2,2)^{10/3}} \right] \quad (6.9)$$

Om vi sätter in detta uttryck i ekv. (6.1b) får vi emellertid tillsammans med ekv. (6.4) och randvillkor ett icke-linjärt ekvationssystem vilket måste lösas på något iterativt sätt. Det är givetvis enklare att lösa ett linjärt ekvationssystem. S_f måste därför linjariseras vilket kan göras på följande sätt (vi tar första termen i ekv. (6.9))

$$S_f(1,2) = \frac{Q(1,2)^2}{M^2 B^2 y(1,2)^{10/3}} \approx \frac{Q(1,1)^2}{M^2 B^2 y(1,1)^{10/3}} \quad (6.10)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial Q} \left[\frac{Q^2}{M^2 B^2 y^{10/3}} \right]_{(1,1)} \cdot (Q(1,2) - Q(1,1))$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{Q^2}{M^2 B^2 y^{10/3}} \right]_{(1,1)} \cdot (y(1,2) - y(1,1))$$

där

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial Q} \left[\frac{Q^2}{M^2 B^2 Y^{10/3}} \right]_{(1,1)} &= \frac{2 Q(1,1)}{M^2 B^2 Y(1,1)^{10/3}} \\ \frac{\partial}{\partial Y} \left[\frac{Q^2}{M^2 B^2 Y^{8/3}} \right]_{(1,1)} &= -\frac{10}{3} \cdot \frac{Q(1,1)^2}{M^2 B^2 Y(1,1)^{13/3}}\end{aligned}$$

vilket innebär att $S_f(1,2)$ vid tiden t_2 har approximerats mha sitt värde $S_f(1,1)$ och de partiella derivatorna med avseende på Q och y vid tiden t_1 . Av ekv. (6.10) framgår att $S_f(1,2)$ nu är en linjär funktion av $Q(1,2)$ och $y(1,2)$.

Om vi formulerar $S_f(2,2)$ på motsvarande sätt och sätter in $S_f(1,2)$, $S_f(2,2)$ och $\partial y / \partial x$ enligt ekv. (6.7) i ekv. (6.1b) erhålles

$$C_6 Q(1,2) + C_7 y(1,2) + C_8 Q(2,2) + C_9 y(2,2) = C_{10} \quad \dots (6.11)$$

där koefficienterna C_6 till C_{10} alla är konstanter.

Ekv. (6.4) och (6.11) bildar ett ekvationssystem om två ekvationer och fyra obekanta, varför det erfordras ytterligare två ekvationer, vilka vi hämtar från randvillkoren. I uppströmsänden av kanalen känner vi tillflödet i varje tidpunkt och i nedströmsänden känner vi vattendjupet. Om vattennivån i sjön står så högt att det dämmer kanalflödet erhålles då randvillkoren

$$\begin{aligned}Q(1,2) &= Q_{in}(t_2) \\ y(2,2) &= y_{sjö}\end{aligned} \quad (6.12)$$

Ekv. (6.4), (6.11) och (6.12) bildar ett linjärt ekvationssystem varur vi kan lösa ut $y(1,2)$ och $Q(2,2)$. Vi känner då alla vattendjup och flöden i sektion 1 och 2 vid tiden t_2 och kan nu beräkna motsvarande storheter ett tidsteg $\Delta t = t_3 - t_2$ senare på precis samma sätt.

Om vi hade haft bestämmande sektion i sektion 2 hade motsvarande randvillkor blivit

$$y(2,2) = \sqrt[3]{\frac{Q(2,2)^2}{gA/B}} \quad (6.13)$$

Vi hade då behövt utnyttja ett iterativt lösningsförfarande.

För en lång kanal är det olämpligt att välja Δx lika med kanalens längd. Vi bör då dela in den flera delsträckor enligt fig. 6.3. För varje delsträcka kan vi approximera ekv.

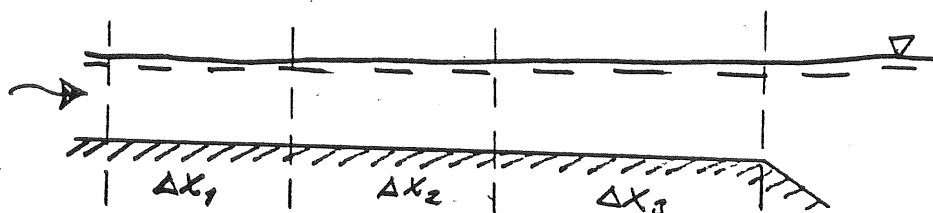


Fig. 6.3 Kanalen uppdelad i tre delsträckor.

(6.1a) och (6.1b) enligt ovan. Tillsammans med de två randvillkoren får vi då ett system av åtta ekvationer ur vilket vi kan lösa obekanta flöden och vattendjup.

En implicit lösningsmetod innebär alltså att man vid varje tidssteg skall lösa ett ekvationssystem som, om ekvationerna approximeras enligt ovan, blir linjärt och kan lösas mha sk Gauss-eliminering.

Det finns många andra sätt att approximera differentialekvationerna än mha box-schemat, se t.ex. Sjöberg (1976). Det går inte generellt att säga att något av dessa scheman är bättre än alla andra. Box-schemat är ett enkelt schema och synes fungera bra för diffusiv-våg.

7. VAL AV BERÄKNINGSSTEG I TID OCH RUM, NUMERISK STABILITET

7.1 Val av Δt och Δx

Det går ej att ange några helt generella regler för hur beräkningsstegen i tid (Δt) och rum (Δx) skall väljas. Allmänt sett gäller dock att noggrannheten dvs överensstämmelsen mellan differentialekvationens analytiska lösning och den numeriska lösningen ökar med minskande Δx och Δt . Vi bortser då från s.k. avrundningsfel, vilka sammanhänger med den numeriska noggrannhet datamaskinen arbetar med.

Vid utnyttjandet av numeriska lösningar baserade på implicita differensschema kan Δt väljas i huvudsak oberoende av Δx . Valet av Δt bör därför i första hand ske på ett sådant sätt att man erhåller en god återgivning av flödesförloppet. Motsvarande gäller för Δx .

I fig. 7.1 har skisserats en vågformat fördelad tillrinning till en ledning.

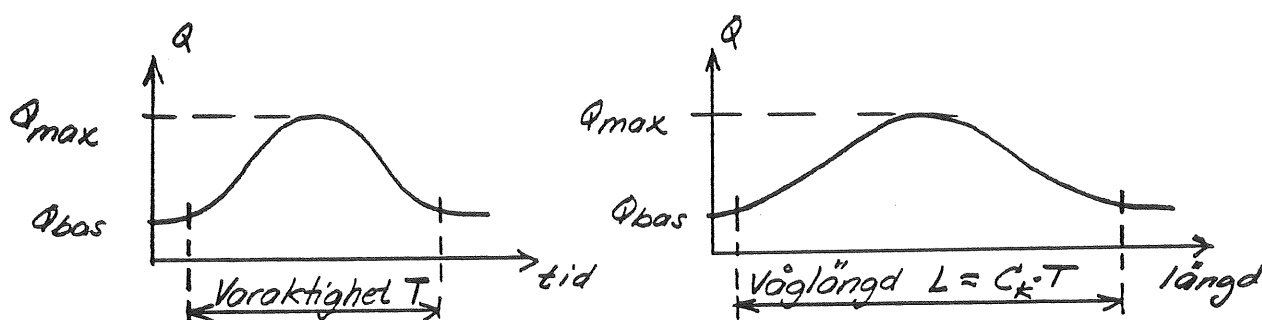


Fig. 7.1 Approximativt samband mellan en flödesvågs varaktighet och dess våglängd.

Om flödesvågen har varaktigheten T kan dess våglängd mycket approximativt uppskattas till

$$L \approx C_k \cdot T \quad (7.1)$$

där C_k är den kinematiska våghastighet (se kap. 3.3) som svarar mot flödet $Q_{\max}$.

Om vi i exemplet ovan väljer $\Delta x = L/2$ så kan detta leda till en felaktig bild av flodvågsförloppet. Väljer man däremot $L/\Delta x >$ säg 20 så kan detta betecknas som en tät indelning. Motsvarande gäller då givetvis för tidsteget Δt vilket lämpligen kan väljas så att $T/\Delta t > 20$. Vid snabbt varierande flödesförlopp bör alltså Δx och Δt väljas litet medan de vid långsamma flödesvariationer kan ges ett större värde.

Även om man vid implicita metoder i princip kan välja Δt oberoende av Δx så visar praktiska försök att alltför stora Δt kan ge svängningar i beräknade flödes- och vattenståndsvärden fig. 3.5. Följande villkor kan därför anges som ett riktvärde på övre gränsen för Δt

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{V} \quad (7.2)$$

där V är medelhastigheten Q/A .

I DAGVL-DIFF väljer användaren själv tidsteget Δt och detta kan ges olika värden under beräkningstiden. Användaren kan även för varje ledning ange hur många delsträckor den skall delas in i. Alternativt bestämmer programmet självt antalet delsträckor så att $\Delta x < 100 \cdot$ ledningens diameter.

Om basflödet är litet och flödesökningen snabb kan stora svängningar erhållas vid flödesfronten. I värsta fall avbryts beräkningen av datorn (INTERUPT...). Man kan då försöka minska Δt och eventuellt även Δx , och om detta inte hjälper, öka basflödet. En annan möjlighet är att öka dämpningsfaktorn θ , se kap. 7.2.

En gles indelning i tid och rum ger lägre beräkningskostnad men ökar risken för ett dåligt beräkningsresultat. Underlag för bedömning av vilken som är den glesast möjliga indelningen i det aktuella fallet kan erhållas genom testberäkningar för olika indelningsnivåer.

7.2 Dämpning av parasitisk vågbildning vid beräkning av snabbt varierande flödesförlopp.

De differentialekvationer vi ställt upp gäller för gradvis varierande strömning och kan ej beskriva branta flödesfronter orsakade av snabba ökningar eller minskningar av vattenföringen. Mha karakteristikmetoden kan man visa att differentialekvationerna inte har någon entydig lösning i fronten. Detta förhållande resulterar i att man i området kring fronten får en mycket kraftig vågbildning i den numeriska lösningen, se fig. 7.2.

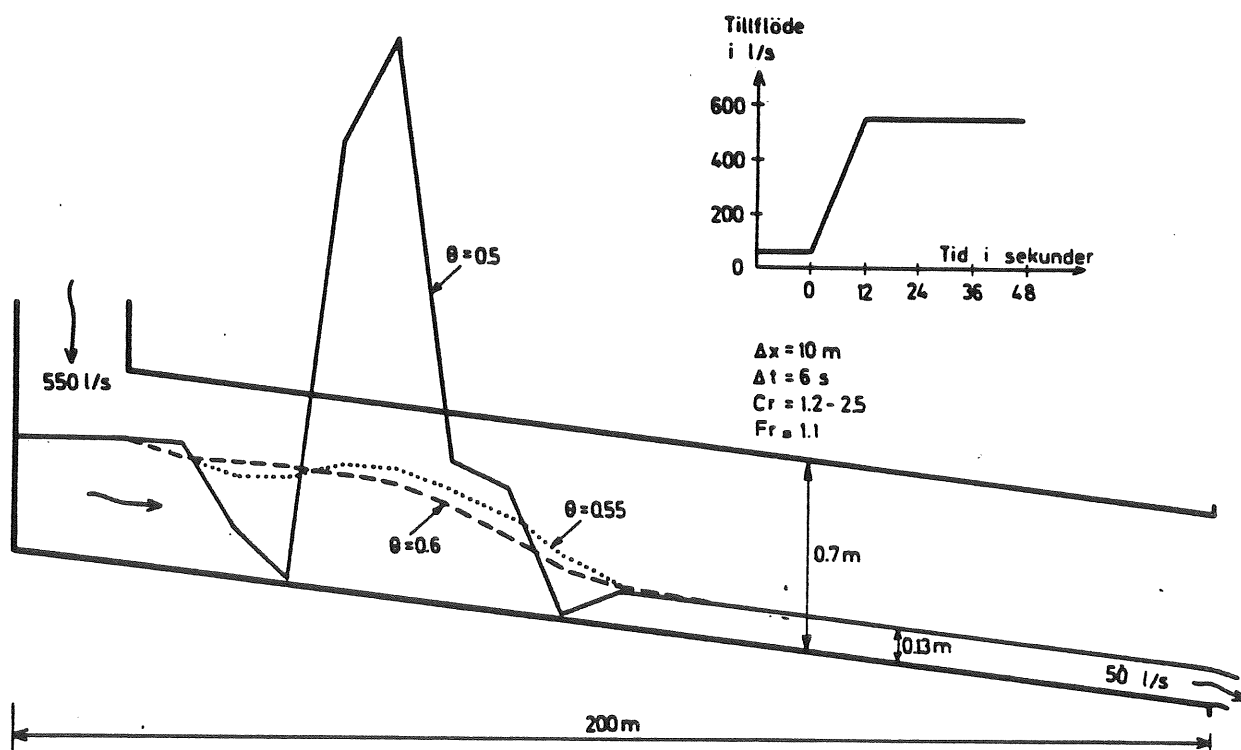


Fig. 7.2 Beräknade vattenstånd i ledning med cirkulär sektion vid snabb flödesökning. Redovisade vattenstånd avser förhållandena 36 sek. efter flödesökningens start.

Denna parasitiska vågbildning kan i de flesta fall dämpas mha den viktningsfaktor θ som infördes vid approximationen av derivaten $\partial Q/\partial x$ i ekv. (6.5). För numerisk stabilitet krävs att

$$0.5 \leq \theta \leq 1.0 \quad (7.3)$$

Effekten av ett ökat värde på viktningskoefficienten θ framgår av fig. 7.2. För $\theta = 0.5$ leder beräkningarna snabbt till orimliga värden på flöden och vattendjup. Denna parasitiska vågbildning leder förr eller senare till att beräkningen spårar ur. En ökning av θ -värdet till 0.55 leder till en mycket kraftig dämpning av vågbildningen. En ytterligare ökning till $\theta = 0.6$ ger ännu kraftigare dämpning.

Vilket värde på θ som krävs för att parasitisk vågbildning skall kunna dämpas beror på flödesfrontens branthet, basflödets storlek samt på valda värden på Δt och Δx . Små värden på Δt och Δx gör det i allmänhet lättare att få igenom beräkningar med snabba flödesberäkningar.

I DAGVL-DIFF kan användaren låta θ variera med vattendjupet enligt den kurva som redovisas i fig. 7.3. Som standardkurva (defaultkurva) har inlagts den kurva som svarar mot $OMY1 = 0.55$ och $OMY2 = 1.0$, vilken alltså då trycklinjen står högre än 0.5 . diametern över rörets hjässa ger $\theta = 1.0$.

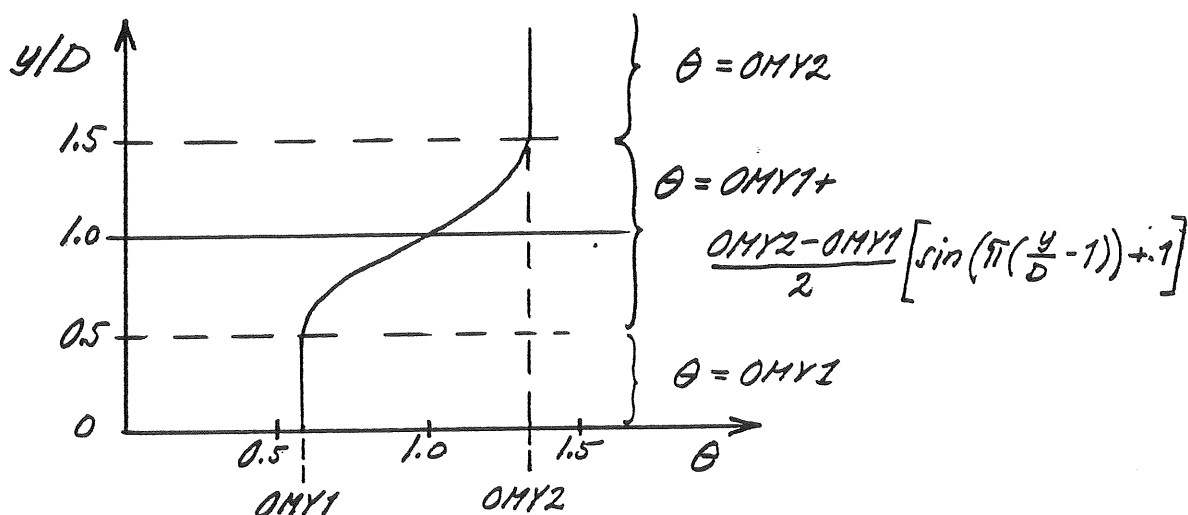


Fig. 7.3 Möjlig variation av viktningsfaktorn θ i DAGVL-DIFF. $OMY1$ och $OMY2$ kan ges som indata i data-gruppen STABIL. Defaultvärden är $OMY1 = 0.55$ och $OMY2 = 1.0$.

Viktningsmöjligheten är då fullt utnyttjad, vilket har bedömts lämpligt med hänsyn till att snabba flödesvariationer lätt erhålles då ledningar går helt fyllda.

Utnyttjandet av ett högt värde på θ kan innebära att man även dämpar ut verkliga svängningar i flöden och trycknivåer. Ibland kan det därför vara lämpligt att göra jämförande beräkningar med olika θ -värden.

Möjlighet finns att mha datagruppen STABIL utnyttja olika OMY1- och OMY2-värden för olika ledningar. θ -värdet för en ledning beräknas med utgångspunkt från det aktuella medeldjupet längs ledningen. En motsvarande viktningsfaktor OMJ finns för de ekvationer som gäller för knutpunkterna (brunnarna). Denna faktor är dock konstant och oberoende av vattennivån. Defaultvärdet är 0.55.

7.3 Parametrar i datagruppen OTHER

I denna datagrupp (liksom i STABIL) finns möjlighet att ändra ett antal beräkningsparametrar som redan tilldelats standardvärden i programmet.

Variabeln TOLER anger den relativa tolerans som måste uppnås innan Newton-Raphson-iterationer avbryts. Sådana iterationer utnyttjas vid basflödesdjupberäkningen ($t = 0$) och i sektioner där normaldjup eller kritiskt djup skall beräknas. När antalet loopar överskrider NITER (standardvärde = 40) avbryts dock beräkningen även om den erforderliga toleransen ej uppnåtts. Om detta inträffar vid basflödesberäkningen avbryts denna med ett felmeddelande. För att få igenom beräkningen kan man då antingen försöka med ett större värde på TOLER eller på NITER

Om iterationen avbryts vid beräkning av normaldjup eller kritiskt djup lämnas ett felmeddelande men programmet fortsätter beräkningen med i tidigare tidsteg beräknat vattendjup. Anledningen till avbrottet är i de flesta fall allt för stora svängningar i flödet vilket gör att programmet ej hittar någon lösning. Man kan då försöka med ett mindre värde på Δt inom den aktuella tidsperioden.

Variabeln MAXIT:

I kontinuitetsekvationen ingår termen $B \cdot \partial y / \partial t$. För att få en linjär differensekvation måste bredden B vid varje tidssteg betraktas som en konstant

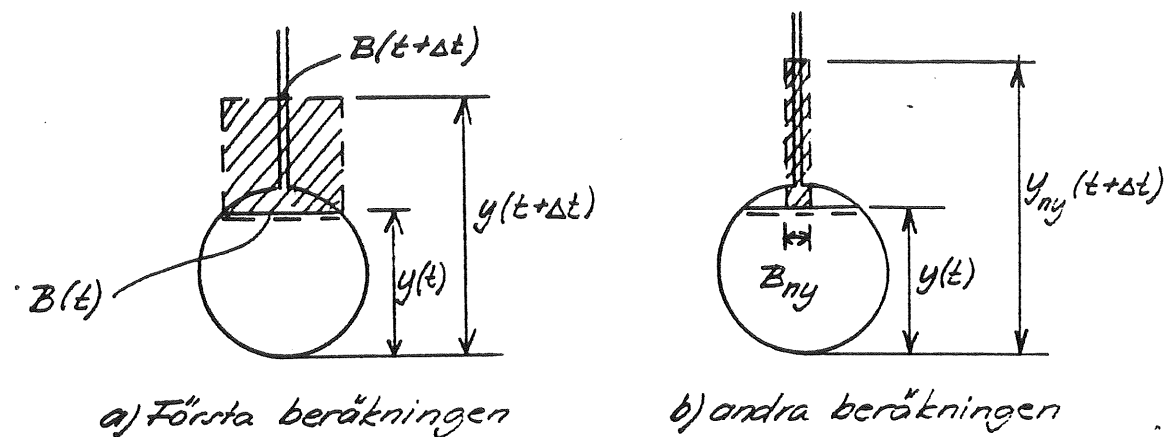


Fig. 7.4 För att undvika stora volymfel bör beräkningen göras om med en bättre uppskattning av breddens medelvärde under tidssteget Δt .

Om vattendjupet och bredden vid tiden t är $y(t)$ respektive $B(t)$ så sättes $B = B(t)$ för beräkningen av $y(t + \Delta t)$ vid tiden $t + \Delta t$. Detta innebär att programmet förutsätter att sektionen ser ut som den streckade ytan i fig. 7.4a dvs att alltför mycket vatten förutsättes kunna magasineras i sektionen. För att korrigera detta volymfel (som blir stort om B varierar snabbt med y) så görs beräkningen om med en ny bredd som bättre svarar mot "medelbredden" under tidssteget

$$B_{ny} = \frac{A(t + \Delta t) - A(t)}{y(t + \Delta t) - y(t)} \quad (7.4)$$

som ger en bättre approximation av tvärsektionens medelbredd mellan nivåerna $y(t)$ och $y_{ny}(t + \Delta t)$. För att förhoppningsvis få en ännu bättre approximation kan man nu göra ytterligare en ny uppskattning av B , osv.

Även om man genomför flera sådana här beräkningsloopar kan volymfelet bli stort om tidssteget Δt är stort. Speciellt gäller detta vid övergången från delvis fylld till helt fylld sek-

tion , då det är speciellt viktigt att inte ha för långa tidsteg.

I DAGVL-DIFF har MAXIT givits standardvärdet 2, vilket är det minsta värdet som rekommenderas. Om beräkningen avser en rektangulär kanal där $B = \text{konstant}$ och oberoende av djupet, kan MAXIT sättas till 1.

Om volymfelet blir stort även för $\text{MAXIT} = 2$ (se STORAGE CHECK i utskriften av beräkningsresultaten, kap.9) så föreslås att tidsteget Δt minskas. En halvering av tidsteget kostar visserligen lika mycket som en dubblering av MAXIT, men har fördelar även ur stabilitetssynpunkt.

8. INDATABESKRIVNING

8.1 Allmänt

Indata ges i fritt format, dvs data skall skiljas åt av ett kommatecken eller en blank (kommatecken rekommenderas). Alla värden måste skrivas ut. En nolla kan t.ex. inte ersättas med en blank.

Data kan vara av följande typ,

integer (heltal): skrivs som de är, t.ex. 1, 10, 4

real (reella tal): skrivs med eller utan decimalpunkt,
t.ex. 1.75, 50, där det sista talet tolkas som 50.,
dvs med decimalpunkt

logisk variabel: skrivs T eller .TRUE. om värdet =
sann, F eller . FALSE. om värdet = falsk

text: valfria tecken eller text

Om antalet variabler är så stort att det inte får rum på en rad ges de på erforderligt antal rader. En rad behöver ej heller skrivas helt full utan variablerna kan fördelas på flera rader.

Exempel: i datagruppen BASFLOWJ skall kanske ges basflöden till 10 olika knutpunkter, dvs 10 värdepar (knutpunktsnummer, basflöde). Dessa värdepar kan då delas upp på t.ex. 3 rader. Datagruppen kan då få utseendet:

BASFLOWJ

10

1, 0.5, 2, 0.1, 4, 0.4,

7, 0.2, 10, 1.1, 1.1, 0.05,

15, 0.7, 3, 0.2, 6, 0.1, 9, 0.2

8.2 Datagrupper - kodord

Indata indelas i datagrupper som identifieras med hjälp av kodord. En sammanställning av datagrupperna redovisas i tabell 8.1.

I vissa datagrupper finns ett antal standardvärden (defaultvärden) inlagda. Dessa kan ändras av användaren genom att önskat värde anges i respektive datagrupp.

Datagrupperna kan inte ges i helt godtycklig ordning. Vissa grupper måste ges efter NET eller TIME (se tabell 8.1 och respektive datagrupp).

Indatafilen måste alltid avslutas med kodordet STOP.

För att en körning överhuvudtaget skall kunna genomföras måste följande datagrupper ges: NET, TIME, BASFLOWJ, BOUNDARY och STOP. Programmet genomför då en beräkning för konstant tillrinning, vilken bör resultera i konstanta flöden och vattendjup i hela systemet (basflödesberäkning). En sådan beräkning är en god kontroll av att programmet fungerar med givna indata.

Övriga datagrupper ges i mån av behov.

Datagrupp (= kodord)	Typ av indata	Användning
TEXT (8.3)	Valfri text för identifiering av beräkningen	
NET (8.4)	Ledningsnätets geometri, typ av knutpunkter m.m.	Måste alltid ges som första eller andra datagrupp
MODEL (8.5)	Data som anger vilken modellvariant som skall användas	Ges endast om DAGVL-DIFF 2 eller 3 skall användas
TIME (8.6)	Beräkningstid, tidssteg	Måste alltid ges
BOUNDARY (8.7)	Nedströms randvillkor (vid utloppet)	Måste alltid ges efter TIME
BASFLOWJ (8.8)	Basflöde till knutpunkt	Måste alltid ges
BASFLOWL (8.9)	Basflöde längs ledning	
HYDROJ (8.10)	Tillrinningshydrograf för knutpunkt	Ges efter TIME
HYDROL (8.11)	Tillrinningshydrograf längs ledning	Ges efter TIME
RAINJ (8.12)	Nederbördsdata och delområdesdata för beräkning av tillrinningshydrograf till knutpunkt enligt tid-areametoden	Ges efter TIME
RAINL (8.13)	Motsv. längs ledning	Ges efter TIME
OUTPOUT (8.14)	Typ av utskrift, utskriftsintervall	Ges efter TIME
SECTION (8.15)	Data för tunnel- och kanalsektioner	Ges efter NET
OVERFLOW (8.16)	Data för bräddavlopp	Ges efter NET
STABIL (8.17)	Parametrar som påverkar den numeriska stabiliteten	Behöver normalt ej utnyttjas. Ges efter TIME
OTHER (8.18)	Diverse parametrar som utnyttjas i programmet, t.ex. antal iterationer	Behöver normalt ej utnyttjas. Ges efter TIME
STOP (8.19)	Avslutar inläsningen av indata	Måste alltid ges som avslutning på indata
Tabell 8.1	Förteckning över i indata förekommande datagrupper (= kodord). <u>Datagrupperna ges lämpligen angiven ordning.</u>	

(8.3) TEXT
 (8.4) NET

Kodord TEXT

Valfri text.

En rad med 56 godtyckliga tecken.

Kodord NET (Måste alltid ges)

Ledningens geometri. Se kap. 2.1-2.3

Max. antal knutpunkter (inkl. utloppsbrunn) = 99

Max. antal ledningar är således 98.

Ledningarna får numreras i godtycklig följd. Dock måste utloppsbrunnens nummer vara lika med totala antalet brunnar.

För varje knutpunkt skall ges en rad inrymmande följande data (13 värden):

Även kanaler och tunnlar måste sammanbindas med knutpunkter (brunnar). Knutpunkternas horisontella area = $\pi \cdot \text{JUNCD}^2/4$.

Variabel	Typ	Betydelse
1.JUNC(NO,4)	Integer	Knutpunktens nummer = nummer på ledningen nedströms knutpunkten
2.LINEP(NO,4)	Integer	Nummer på nedströms liggande knutpunkt
3.LINEL(NO)	Real	Ledningens längd (m)
4.DIAM(NO)	Real	Ledningens diameter m (lämnas blank för tunnel och kanal)
5.ZB(NO,1)	Real	Ledningens (vattengångens) uppströmsnivå m
6.ZB(NO,2)	Real	-"- -"- nedströmsnivå (m)
7.IR(NO,4)	Real	Positivt tal = Manningstal M, tex 80 Negativt tal = -abs sandråhet k (m), tex -0.001 m (lämnas blank för tunnel och kanal)

8.LTYP (NO)	Integer	Typ av ledning: 1 = cirkulär ledning. Bretting (M el k) 2 = tunnel (endast M) 3 = kanal (endast M) 4 = äggformad sektion (ännu ej tillåten) 5 = cirkular sektion. Teoretisk (M el k)
9.LINEP (NO,2)	Integer	Antal beräkningssteg Δx för ledningen (<20) ¹⁾
10.JUNCD (NO)	Real	Knutpunktens diameter (m)
11.GROUND (NO)	Real	Marknivå vid knutpunkten (m) ⁽²⁾
12.COUT (NO)	Real	Knutpunktens tryckförlustkoefficient
13.JUNC (NO,6)	Integer	Knutpunktens typ: 0 = uppströms brunn (ingen inkommande ledning) 1 = brunn med en inkommande ledning 2 = " " två " ledningar 3 = " " tre " " 4 = fiktiv brunn (tvåledningar förbinds utan brunn, tillrinning eller tryckförlust) 5 = utloppsbrunn 6 = bräddavlopp

För utloppsbrunnen ges enbart variablerna JUNC(NO,4), JUNCD(NO), GROUND(NO) OCH JUNC(NO,6). Övriga lämnas blanka.

Obs. Utloppsbrunnens nummer måste vara lika med totala antalet brunnar.

Data för tunnel- eller kanalsektion läses in i datagruppen SECTION.

¹⁾ Om LINEP(NO,2) sättes till noll bestämmer programmet självt antalet Δx för ledningen så att $\Delta x < \text{NDIADX DIAM}$. NDIADX ges i datorgruppen OTHER, vilken dock ej är obligatorisk. Default-värde är NDIADX = 100.

²⁾ Om knutpunkten tillhör en kanal skall GROUND ges ett värde > högsta vattennivån under beräkningen i denna punkt.

Kodord MODEL
Modellvariant

(8.5) MODEL

Denna datagrupp behöver ej ges om DAGVL-DIFF 1 skall utnyttjas (standardvärde: MODTYP=1). Se vidare kap 4.

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	MODTYP	Integer	MODTYP = 1: DAGVL-DIFF 1
			2 2
			3 3
2	JL	Integer	Ledningens nummer (<98)
	(endast		
	om MOD-		
	TYP=3)	LINMOD	Integer

Rad 2 skall endast ges om MODTYP=3. Den ges då för varje ledning med lutning >0 för vilken inte skall gälla att LINMOD=1 (standard-värde). För ledning med lutning <0 sätter programmet alltid LINMOD=4. För sådan ledning behöver rad 2 ej heller ges.

LINMOD = 1 Diffusiv våg. Referensdjup: y_{norm}

2 - " - " - " - : y_{norm} om $Fr > 1$
 y_{krit} om $Fr < 1$

3 Dynamisk våg. Referensdjup: y_{norm}

4 - " - " - " - : y_{norm} om $Fr > 1$
 y_{krit} om $Fr < 1$

y_{norm} = normaldjup (naturligt djup)

y_{krit} = kritiskt djup

Fr = Froudes tal

Kodord TIME (måste alltid ges)(8.6) TIME

Beräkningstid och beräkningssteg

Rad	Variabel	Typ	Betydelse
1	SLUTT	Real	Beräkningstid (min)
	NT	Integer	Antal olika tidsteg i beräkningen (<10)
2	TDT(1)	Real	Tidpunkt (min) fram till ⁽¹⁾ vilken tidsteget DT(1) (min)
	DT(1)	Real	skall gälla
	TDT(2)	Real	
	DT(2)	Real	
	osv tills NT värdepar angivits. <u>Obs!</u> NT<10		

Om SLUTT=0 genomföres endast basflödesberäkning, dvs beräkning av mot basflödet svarande vattendjup.

Om endast ett par värden TDT(1), DT(1) ges, dvs NT=1, låter programmet tidsteget DT(1) gälla under hela beräkningstiden även om TDT(1) < SLUTT.

1)

Beräkningssteget Δt (variabelnamn DT) kan alltså ges olika värden under beräkningen:

DT(1) gäller om $t \leq TDT(1)$

DT(2) gäller om $TDT(1) < t \leq TDT(2)$

osv.

(8.7) BOUNDARY

Kodord BOUNDARY (Måste alltid ges. Ges efter TIME)

Nedströms randvillkor vid utloppsbrunn

Följande alternativ finns (definieras av sekundärt kodord som skrives på raden efter BOUNDARY)

- 1) Vattennivå i utloppsbrunnen som funktion av tiden
(kodord=DOWNY)
- 2) Avbördningskurva för utflödet från brunnen
(kodord=DOWNQY)
- 3) Utflödet från brunnen som funktion av tiden
(kodord=DOWNQ)

Alt	Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1)	1	DOWNY	Kodord	
	2	NK	Integer	Antal värdepar (tidpunkt, vattennivå) (<99)
	3	TYDOWN(1)	Real	Tidpunkt (min)
		YKDOWN(1)	Real	motsv vattenni
		TYDOWN(2)		
		YKDOWN(2)		
		osv tills NK värdepar angivits.		
		<u>Obs! NK<99</u>		

Obs! TYDOWN(1) skall alltid sättas till noll

2)	1	DOWNQY	Kodord	
	2	NQKY	Integer	Antal punkter på avbördningskurvan (<100)

(8.7) BOUNDARY

3
(m³/s) och

QKDOWN(1)

Real

Flöde

YKDOWN(1)

Real

motsv vattenni

QKDOWN(2)

YKDOWN(2)

osv tills NQKY värdepar angivits.

Obs NQKY<100

Obs!

QKDOWN(1) skall alltid sättas till noll

YKDOWN(I+1) skall alltid vara större än

YKDOWN(I)

3)

1

DOWNQ

Kodord

2

NKQ

Integer

Antal värdepar

(tidpunkt, flöde)

(<99)

3

TQDOWN(1)

Real

Tidpunkt (min)

QKDOWN(1)

Real

motsvarande

flöde (m³/s)

TQDOWN(2)

QKDOWN(2)

osv tills NKQ värdepar angivits

Obs!

NKQ<99

4

YDOWN(1) Real

Vattennivå vid

tidpunkten 0

TQDOWN(1) skall alltid sättas lika med noll

Om QKDOWN(1) ej överensstämmer med basflödet QDOWN(1) vid

utloppet sättas QKDOWN(1)=QDOWN(1). Följande kommentar skrivs då

ut: QKDOWN(1) IS PUT EQUAL QDOWN(1).

(8.8) BASFLOWJ

Kodord BASFLOWJ (Måste alltid ges)

Basflöde till knutpunkt

Basflöde bör normalt ges till åtminstone alla "uppströmsknutpunkter". Alltför små initiella vattendjup kan ge beräkningsproblem. Det initiella vattendjupet bör vara minst 5% av ledningens diameter. Vid stora och snabba flödesökningar ger små initiella vattendjup ofta numeriska problem vilka leder till att beräkningarna avbryts.

Programmet kontrollerar att basflödet inte ger ett vattendjup i ledningarna som underskrider ett minsta tillåtna relativa vattendjup $(YMIN/DIAM) = WMIN$. Programmet skriver då följande kommentar: LINE(nr): FLOW (flödesvärde) LESS THAN THE FLOW CORRESPONDING TO YMIN (QMIN=flödesvärde).

Standardvärdet är $WMIN = 0.001$. Detta värde kan ändras genom att önskat värde anges i datagruppen OTHER.

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	NOJ	Integer	Antal knutpunkter (<99) för vilka basflöde skall läsas in
2	NO1	Integer	Knutpunktens nummer
	QBASJ(NO1)	Real	Tillhörande basflöde (m^3/s)
	NO2		
	QBASJ(NO2)		
	osv tills NOJ värdepar angivits		

(8.9) BASFLOWLKodord BASFLOWL

Jämnt fördelat basflöde längs ledning

Denna datagrupp behöver endast ges om denna typ av basflöde förekommer.

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	NOL	Integer	Antal ledningar (<98) för vilka basflöde skall läsas in
2	JL1	Integer	Ledningens nummer
	QBASL(JL1)	Real	Tillhörande basflöde (m^3/s)
	JL2		
	QBAJL(JL2)		
	osv tills NOL värdepar angivits		

(8.10)HYDROJ

Kodord HYDROJ (ges efter TIME)

Tillrinningshydrograf för knutpunkt. Adderas till eventuellt basflöde i knutpunkten.

Obs! Får ej ges för knutpunkt för vilken data ges i datagruppen RAINJ.

Denna datagrupp behöver endast ges om denna typ av tillrinning förekommer.

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	NO	Integer	Knutpunktens nummer (<99)
	NJ	Integer	Antal värdepar (tidpunkt, flöde) som skall läsas in (<41)
2	TQINJR(NO,1)	Real	Tidpunkt (min) och
	QINJR (NO,1)	Real	motsvarande tillflöde (m ³ /s)
	TQIJR (NO,2)		
	QINJR (NO,2)		
	osv tills NJ värdepar angivits. <u>Obs! NJ<41</u>		
	TQINJR(NO,1) och QINJR(NO,1) måste alltid sättas lika med noll.		

Rad 1 och 2 upprepas för varje knutpunkt med given tillrinningshydrograf.

Kodord HYDROL (ges efter TIME)

Tillrinningshydrograf längs ledning. Adderas till eventuellt basflöde till ledningen.

Obs! Får ej ges för ledning för vilken data ges i datagruppen RAINL.

Denna datagrupp behöver endast ges om denna typ av tillrinning förekommer.

Rad nr	Variabel Typ	Betydelse
1	JL	Integer Ledningens nummer (<98)
	NL	Integer Antal värdepar (tidpunkt, flöde) som skall läsas in (<41)
2	TQINLR(JL,1)	Real Tidpunkt (min) och
	QINLR (JL,1)	Real motsvarande tillflöde (m ³ /s)
	TQINLR(JL,2)	Real
	QINLR (JL,2)	Real
	osv tills NL värdepar angivits. <u>Obs! NL<41</u>	
	TQINLR(JL,1) och QINLR(JL,2) måste alltid sättas lika med noll.	

Rad 1 och 2 upprepas för varje ledning med tillrinningshydrograf.

Kodord RAINJ (ges efter TIME)

Nederbördsdata (blockregn) och delområdesdata för beräkning av tillrinningshydrograf för knutpunkt enligt tid-areametoden (rätlinjigt tid-areasamband). Hydrografen adderas till eventuellt basflöde i knutpunkten.

Obs! Får ej ges för knutpunkt för vilken data ges i datagruppen HYDROJ.

Denna datagrupp behöver endast ges om denna typ av tillrinning förekommer.

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	NO		Integer Knutpunktens nummer (<99)
	AREA1J(NO)	Real	Delområdets totala area (ha)
	FIJ(NO)	Real	Avrinningskoefficient
	STARTJ(NO)	Real	Tidpunkt (min) då regnet startar
	TILLTJ(NO)	Real	Rinntid (min) från delområdet till knutpunkten
	FLYTTJ(NO)	Real	Flyttid (min) inom delområdet
	INTJ(NO)	Real	Blockregnets intensitet(l/s/ha)
	VARJ(NO)	Real	Blockregnets varaktighet(min)

Rad 1 upprepas för varje knutpunkt med hydrograf beräknad från nederbördsdata.

Kodord RAINL (ges efter TIME)

Nederbördsdata (blockregn) och delområdesdata för beräkning av tillrinningshydrograf längs ledning enligt tid-areametoden (rätlinjigt tid-areasamband). Hydrografen adderas till eventuellt basflöde till ledningen.

Obs Får ej ges för ledning för vilken data ges i datagruppen HYDROL.

Denna datagrupp behöver endast ges om denna typ av tillrinning förekommer.

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	JL	Integer	Ledningens nummer (<98)
	AREA1L(JL)	Real	Delområdets totala area (ha))
	FIL(JL)	Real	Avrinningskoefficient
	STARTL(JL)	Real	Tidpunkt (min) då regnet startar
	TILLTL(JL)	Real	Rinntid (min) från delområdet till ledningen
	FLYTTL(JL)	Real	Flyttid (min) inom delområdet
	INTL(JL)	Real	Blockregnets intensitet (l/s/ha)
	VARL(JL)	Real	Blockregnets varaktighet (min)

Rad 1 upprepas för varje ledning med hydrograf beräknad från nederbördsdata.

Kodord OUTPUT (ges efter TIME)

Typ av utskrift; utskriftsintervall

Om denna datagrupp ej ges erhålles en "kort" utskrift (COMPL=T) varje tidsteg (NODT=1). COMPL = T ger en "lång" utskrift ¹⁾

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	NM	Integer	Antal värdepar (tidpunkt, typ av utskrift) (<10)
2	TCOMPL(1)	Real	Till och med denna tidpunkt (min)
	COMPL(1)	Logical	är utskriften kort om COMPL=F är utskriften lång om COMPL=T
	TCOMPL(2)		Vid tidpunkter > TCOMPL(1)
	COMPL(2)		och < TCOMPL(2) erhålles angiven utskrift
			tills NM värdepar angivits. <u>Obs NM<10</u>
3	NUFT	Integer	Antal värdepar (tidpunkt, antal tidsteg mellan utskrift) (<13)
4	UTTID(1)	Real	Till och med denna tidpunkt (min)
	NODT(1)	Integer	är det NODT antal tidsteg mellan utskrifterna
	UTTID(2)		Vid tidpunkter > UTTID(1) och < UTTID(2) erhålles NODT(2)
	NODT(2)		tidsteg mellan utskrifterna
			tills NUFT värdepar angivits. <u>Obs NUFT<13</u>

- 1) "Kort utskrift": Endast flöden och vattendjup i ledningarnas uppströms- och nedströmsände skrivs ut tillsammans med vattennivå och tillflöden i knutpunkter m.m.
- 2) "Lång utskrift": Utskrift fås av flöden och vattendjup i alla beräkningssektioner på ledningarna samt vattennivå i knutpunkter.

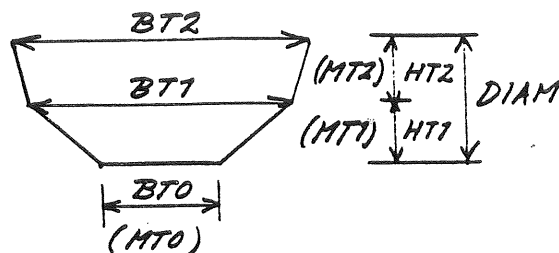
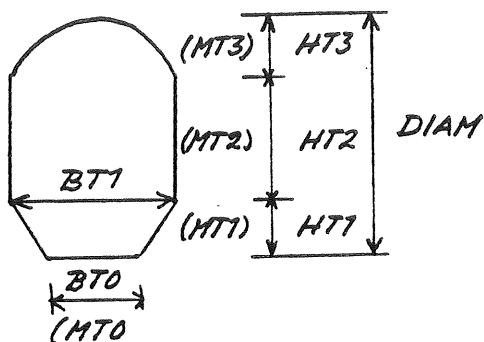
(8.15) SECTION

Kodord SECTION (ges efter NET)

Data för tunnel- eller kanalsektion. Ledningens typ (LTYP)
har redan angivits i datagruppen NET

TUNNEL (LTYP=2)

KANAL (LTYP=3)



MT0, MT1, MT2, MT3 = Mannings tal

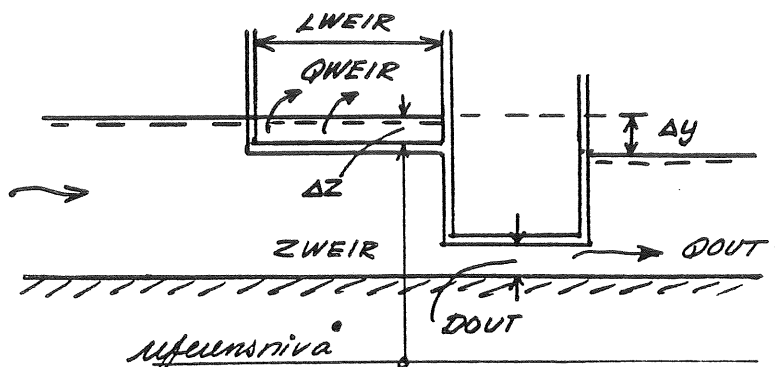
Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	JL	Integer	Ledningens nummer (<98) (ledningens typ har redan givits i NET)
2	BT0	Real	Mått (m) enligt figur ovan Obs! HT1, HT2 och HT3 måste ges värden >0
(om	BT1	Real	
tunnel)	HT1	Real	
	HT2	Real	
	HT3	Real	
	MT0	Real	Mannings tal för respektive del av perimetern
	MT1	Real	
	MT2	Real	
	MT3	Real	
	(9 värden)		

2	BT0	Real	Mått (m) enligt figur ovan Obs! HT1 och HT2 måste båda ges värden > 0; HT1+HT2 måste > maximal vattendjup under beräkningen.
(om	BT1	Real	
kanal)	BT2	Real	
	HT1	Real	
	HT2	Real	
	MT0	Real	Mannings tal för respektive perimenter enligt figur ovan
	MT1	Real	
	MT2	Real	
	(8 värden)		

Rad 1 och 2 ges för varje aktuell ledning

(8.16) OVERFLOWKodord OVERFLOW (ges efter NET)

Data för bräddavlopp



$$Q_{WEIR} = CMYW \cdot L_{WEIR} \cdot \sqrt{2gR} \cdot \Delta z^{3/2}$$

$$Q_{OUT} = CMYOUT \cdot \pi \cdot D_{OUT}^2 / 4 \cdot \sqrt{2g\Delta y}$$

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	NO		Integer Knutpunktens nummer
2	ZWEIR	Real	Bräddavloppets absoluta nivå (m)
	LWEIR	Real	Bräddavloppets längd (m)
	CMYW	Real	Avbördningskoeff för bräddflöde
	DOUT	Real	Nedströmsutloppets diameter (m)
	CMYOUT	Real	Avbördningskoeff för nedströmsflöde

Rad 1 och 2 upprepas för varje knutpunkt som är ett bräddavlopp.

Obs Bräddavlopp får endast ha en inkommande ledning.

Uppströmsbrunn eller utloppsbrunn får ej vara bräddavlopp.

(8.17) OTHERKodord OTHER (ges efter TIME)

Diverse parametrar

Denna datagrupp skall normalt inte behöva utnyttjas.

<u>Rad nr</u>	<u>Variabel</u>	<u>Typ</u>	<u>Betydelse</u>
1	TOLER	Real	Relativ tolerans $\Delta y/\text{DIAM}$ vid Newton-Raphson-iterationer. Sådan utnyttjas vid bl a basflödesdjupberäkningen. Se kap. 7.3. (Standardvärde=0.0001)
	VSOUND	Real	Ljudhastighet (m/s) för beräkning av den fiktiva spaltens bredd. Se kap. 5. (Standardvärde = 50m/s)
	WMIN	Real	Minsta tillåtna relativa vattendjup $Y_{\text{MIN}}/\text{DIAM}$. Om $y < W_{\text{MIN}} \text{ DIAM}$ sättes $y = W_{\text{MIN}} \text{ DIAM}$ (Standardvärde=0.001)
	MAXIT	Integer	Max antal beräkningsloopar i huvudprogrammet. Se kap. 7.3. (Standardvärde = 2)
	NITER	Integer	Max antal loopar vid Newton-Raphson-iteration. Se kap. 7.3. (Standardvärde=40)

(8.18) STABILKodord STABIL (ges efter TIME)

Parametrar som påverkar den numeriska stabiliteten.

Denna datagrupp skall normalt ej behöva utnyttjas

Vid den numeriska lösningen (implicit differensschema) utnyttjas en faktor θ för viktning av vissa derivator mellan gamla och nya tidssteget. För numerisk stabilitet gäller att $0.5 \leq \theta \leq 1.0$.

I programmet varierar θ på följande sätt (se även kap. 7.2):

Relativt vattendjup y/DIAM	θ
< 0.5	OMY1 (Standardvärde=0.55)
> 0.5	$\text{OMY} + \frac{\text{OMY2} - \text{OMY1}}{2} (\sin(\pi(\frac{y}{\text{DIAM}} - 1)) + 1)$
< 1.5	
> 1.5	OMY2 (Standardvärde=1.0)

Rad nr	Variabel	Typ	Betydelse
1	OMY1	Real	Enligt ovan
	OMY2	Real	
	OMJ	Real	Motsv typ av viktningsfaktor för knutpunktsekvationer. (Standardvärde=0.55)
2	OMCHY	Logisk	Om ändring önskas av OMY-värdet för någon ledning sättes OMCHY=T, annars=F
	OMCHJ	Logisk	Om ändring önskas av OMJ-värdet för någon knutpunkt sättes OMCHJ=T, annars=F

(8.18) STABIL)

3 NOMCHY Integer Antal ledningar för vilka (endast
om OMY skall ändras
OMCHY=T)

4 JL1 Integer Ledningens nummer
(endast OMCHY1 (JL1) Real Nya värden för OMY1
om OMCHY2 (JL1) Real resp OMY2
OMCHY=T)

JL2
OMCHY1 (JL2)
OMCHY2 (JL2)
osv tills NOMCHY värdegrupper angivits

5 NOMCHJ Integer Antal knutpunkter för vilka
(endast om OMJ skall ändras
OMCHJ=T)

6 NO1 Integer Knutpunktens nummer
(endast OMCHJ (NO1) Real Nytt värde på OMJ
om NO2 Integer
OMCHJ=T) OMCHJ (NO2) Real
osv tills NOMCHJ värdepar angivits

(8.19) STOPKodord STOP

Kodordet STOP skall alltid ges som avslutning på indata.

